



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS MAESTRÍA EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

Efecto de la incorporación de compuestos antioxidantes encapsulados en una emulsión doble ($W_1/O/W_2$), en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y la estabilidad oxidativa de productos cárnicos emulsionados

T E S I S

Que para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

presenta

Ing. Nestor Santos Ordoñez

Director:

Dr. Rafael Germán Campos Montiel

Co-directora:

Dra. Abigail Reyes Munguía

Asesores:

Dr. Roberto González Tenorio

Dr. Rubén Jiménez Alvarado

Dra. María Luisa Carrillo Inungaray



Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México 2018



COORDINACION DE INVESTIGACION Y POSGRADO DEL ICAP

Actas de la reunión del Comité de Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos
Apertura:

La reunión ordinaria para evaluar los avances de la tesis intitulada: "Efecto de la incorporación de compuestos antioxidantes encapsulados en una emulsión doble (W₁/O/W₂), en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y la estabilidad oxidativa de productos cárnicos emulsionados", que desarrolla el estudiante Ing. Agroindustrial Nestor Santos Ordoñez

Asistentes:

- Dr. Rafael Germán Campos Montiel
- Dra. Abigail Reyes Munguía
- Dr. Roberto González Tenorio
- Dr. Rubén Jiménez Alvarado
- Dra. María Luisa Carrillo Inungaray

A. Revisión de Trabajo de Tesis

Observaciones:

El comité revisó con antelación el trabajo de tesis en extenso propuesto por la estudiante, comunicando a el estudiante, Ing. Agroindustrial Nestor Santos Ordoñez, oportunamente las correcciones, adiciones y/o modificaciones que debería considerar para mejorar su trabajo y poder continuar con el proceso de obtención de grado. El estudiante atendió de forma conveniente las sugerencias del comité

B. Acuerdos

En esta fecha, se comunica atentamente que el comité conformado por los profesores firmantes, otorgamos nuestra autorización para que el estudiante imprima su trabajo final de tesis, y continúe con los trámites necesarios para la obtención del grado de maestría respectivo

ATENTAMENTE

"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"

Tulancingo de Bravo, Hidalgo a 12 de octubre de 2018

Dr. Rafael Germán Campos Montiel

Dra. Abigail Reyes Munguía

Dr. Roberto González Tenorio







UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Instituto de Ciencias Agropecuarias
School of Forestry and Environmental Studies

Dr. Rubén Jiménez Alvarado

Dra. María Luisa Carrillo Inungaray



Agradecimiento

A CONACyT por la beca otorgada,
para la realización del presente
trabajo de investigación en la
Maestría en Ciencia de los Alimentos.

Agradecimientos

Gracias a dios por una vida colmada de bendiciones y rodearme de buenas personas.

Gracias al Dr. Rafael Campos por confiar en mí en cada replanteamiento que propuse para este trabajo, y proporcionarme los medios necesarios para realizarlo.

Gracias al Dr. Roberto González y Dr. Rubén Jiménez por las sugerencias, correcciones y atenderme aun cuando tenían mucho trabajo.

Gracias la Dra. Abigail Reyes y la Dra. María Luisa Carrillo por las pertinentes correcciones a este trabajo.

Gracias a toda mi familia por el apoyo y el amor, en especial a mi madre a quien muchas veces le tocó darme animo cuando las cosas no iban muy bien.

Gracias a Uriel por ser como un hermano, y apoyarme en todo desde que estuvimos juntos en la carrera.

Gracias a Lizeth Rosas, amor gracias por todo el apoyo y escucharme siempre, sin importar la hora o el día, por estar en las buenas y no tan buenas, por la ayuda y por todo el amor.

Gracias a Antonio "Doc. Toño", por la amistad, por escuchar mis ideas y siempre darme tú punto de vista.

Gracias a Denis, Dulce y Fernando por su amistad y los buenos momentos.

Dedicatorias

A mis papás, por preocuparse para formar un hombre de bien, sin su apoyo jamás habría llegado a este punto.

A mis hermanos y a Lizeth, a quienes quiero mucho y son parte vital de mi vida.

A todas las personas que formaron parte de este proyecto, que me apoyaron, o que simplemente me escucharon cuando platicaba mis ideas a desarrollar.

Índice general

Índice general.....	I
Índice de figuras.....	V
Índice de tablas.....	VI
Resumen.....	VII
1 Introducción.....	1
2 Marco teórico.....	4
2.1 La carne.....	4
2.1.1 Composición del músculo.....	4
2.1.2 Estructura del músculo y la conversión de músculo a carne.....	5
2.1.3 Producción de carne en México y su consumo.....	7
2.2 Emulsión cárnica.....	8
2.2.1 Productos cárnicos emulsionados.....	9
2.2.2 Factores de estabilidad en emulsiones cárnicas.....	11
2.3 La industria cárnica y la alimentación actual.....	11
2.4 Alimentos funcionales.....	12
2.4.1 Productos cárnicos funcionales.....	13
2.5 Opciones tecnológicas para el remplazamiento de grasa animal en productos cárnicos emulsionados.....	15
2.5.1 Incorporación de aceites comestibles líquidos en productos cárnicos... ..	16
2.5.2 Incorporación de aceites pre-emulsionados en productos cárnicos.....	16
2.5.3 Incorporación de aceites encapsulados.....	17
2.6 La oxidación y la salud humana.....	17
2.6.1 Radicales libres.....	18
2.6.2 Antioxidante.....	18
2.6.3 Oxidación de la carne y productos cárnicos y su influencia en la calidad	19
2.7 Encapsulación.....	20
2.8 Emulsiones.....	21
2.8.1 Propiedades de diferentes tipos de emulsiones.....	22
2.9 Emulsiones dobles.....	23
2.9.1 Ventajas de las emulsiones dobles sobre las emulsiones convencionales en su aplicación en alimentos.....	25

ÍNDICE GENERAL

2.9.2 Mecanismos de inestabilidad en emulsiones dobles	25
2.9.3 Aplicación de las emulsiones dobles en alimentos	26
2.10 Compuestos bioactivos	27
2.10.1 Compuestos Fenólicos	27
2.11 Xoconostle	30
2.12 Materiales para la elaboración de la emulsión doble	32
2.12.1. Emulgente de la fase acuosa externa: aislado proteico de suero de leche	32
2.12.2 Fase lipídica: aceite de canola.....	33
2.12.3 Emulgentes para la emulsión primaria	33
3 Antecedentes	36
4 Justificación	39
5 Objetivos	41
5.1 Objetivo general.....	41
5.2 Objetivos específicos	41
6 Hipótesis.....	42
7 Materiales y métodos	43
7.1 Primera etapa: caracterización del filtrado de xoconostle y evaluación de las emulsiones dobles	43
7.1.1 Obtención del filtrado de xoconostle	43
7.1.2 Preparación del filtrado para su evaluación	44
7.1.3 Determinación del contenido de fenoles totales en el filtrado de xoconostle.....	44
7.1.4 Determinación del contenido de flavonoides en el filtrado de xoconostle	44
7.1.5 Determinación de la capacidad antioxidante del filtrado de xoconostle por el método ABTS.....	45
7.1.6 Determinación de la capacidad antioxidante del filtrado de xoconostle por el método DPPH	45
7.1.7 Elaboración de la emulsión doble	46
7.1.8 Determinación del diámetro de gota de la emulsión	47
7.1.9 Obtención del extracto de la emulsión doble con filtrado de xoconostle para las pruebas Fenoles, Flavonoides, ABTS y DPPH	47
7.1.10 Determinación del contenido de fenoles totales en la emulsión doble.	48

ÍNDICE GENERAL

7.1.11 Determinación del contenido de flavonoides en la emulsión doble	48
7.1.12 Determinación de la capacidad antioxidante de las emulsiones dobles por el método ABTS	48
7.1.13 Determinación de la capacidad antioxidante de las emulsiones dobles por el método DPPH	48
7.2 Segunda etapa: evaluación fisicoquímica de los productos cárnicos reformulados con emulsión doble	49
7.2.1 Elaboración de los productos cárnicos	49
7.2.2 Pruebas proximales	50
7.2.3 pH de los productos cárnicos.....	53
7.2.4 Análisis de perfil de textura.....	53
7.3 Etapa 3: evaluación de las propiedades funcionales de los productos cárnicos reformulados con emulsión doble	53
7.3.1 Obtención del extracto del producto cárnico para la determinación del contenido de fenoles totales	53
7.3.2 Obtención del extracto del producto cárnico para las pruebas de capacidad antioxidante ABTS y DPPH	54
7.3.3 Determinación del contenido de fenoles totales en los productos cárnicos	54
7.3.4 Determinación de la capacidad antioxidante de los productos cárnicos por el método ABTS	54
7.3.5 Determinación de la capacidad antioxidante de los productos cárnicos por el método DPPH.....	54
7.3.6 Estabilidad oxidativa de los productos cárnicos por la prueba: Sustancias que reaccionan con ácido tiobarbitúrico.....	54
7.4 Análisis estadístico.....	55
8 Resultados y discusiones	56
8.1 Etapa 1: Caracterización del filtrado de xoconostle y evaluación de las emulsiones dobles	56
8.1.1 Caracterización funcional del filtrado de xoconostle (fenoles totales, flavonoides, pH y capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH) ...	56
8.1.2 pH de las emulsiones dobles con filtrado de xoconostle encapsulado ..	59
8.1.3 Estabilidad física de las emulsiones dobles con filtrado de xoconostle encapsulado	60
8.1.4 Diámetro de gota de las emulsiones dobles	63

ÍNDICE GENERAL

8.1.5 Contenido de fenoles totales en la emulsión doble con filtrado de xoconostle.....	66
8.1.6 Contenido de compuestos flavonoides en la emulsión doble con filtrado de xoconostle.....	67
8.1.7 Capacidad antioxidante de las emulsiones dobles por el método ABTS	71
8.1.8 Capacidad antioxidante de las emulsiones dobles por el método DPPH	74
8.2 Etapa 2: evaluación fisicoquímica de los productos cárnicos reformulados con emulsión doble	77
8.2.1 Pruebas proximales de los productos cárnicos.....	77
8.2.2 pH de los productos cárnicos reformulados.....	80
8.2.3 Análisis de perfil de textura.....	84
8.3 Etapa 3: evaluación de las propiedades funcionales de los productos cárnicos reformulados con emulsión doble	90
8.3.1 Contenido de fenoles totales en los productos cárnicos	90
8.3.2 Capacidad antioxidante de los productos cárnicos por el método ABTS	93
8.3.3 Capacidad antioxidante de los productos cárnicos por el método DPPH	96
8.3.4 Estabilidad oxidativa de los productos cárnicos por la prueba TBARS.	100
9 Conclusiones.....	105
10 Referencias bibliográficas	107
Anexos	114

Índice de figuras

Figura 1. Elemento estructural del músculo esquelético: 1) epimisio, 2) perimisio, 3) endomisio, 4) fibra muscular (Belitz <i>et al.</i> , 2010).....	5
Figura 2. Representación esquemática de un sarcómero en: (a) relajación (b) contracción. 1 banda I, 2 banda A, 3 línea Z, 4 línea M, 5 filamentos delgados, 6 filamentos gruesos, 7 zonas H. Sección transversal: I filamentos finos cerca de la línea Z, II superposición de filamentos gruesos y delgados, III filamentos gruesos, IV línea M (Belitz <i>et al.</i> , 2010).	7
Figura 3. Representación esquemática de una emulsión cárnica: salchicha (Belitz <i>et al.</i> , 2010).	9
Figura 4. Representación de la estructura agua-aceite-agua de una emulsión doble (Jiménez-Colmenero, 2013a).....	24
Figura 5. Compuestos fenólicos más comunes encontrados en fuentes vegetales. Acomodo de acuerdo a su complejidad y masa molecular (Velderrain-Rodríguez <i>et al.</i> , 2014). 30	
Figura 6. Estructura química del PGPR, los puntos negros denotan cadenas de ácido polirricinoleico (Bastida Rodríguez, 2013).....	34
Figura 7. Estructura química del ácido ricinoleico (Bastida-Rodríguez, 2013).	34
Figura 8. Estructura molecular de DATEM, donde R ₁ , R ₂ y R ₃ (o dos de ellos) son restos de ácidos grasos, el resto puede ser: a) fracción de ácido tartárico diacetilado, b) fracción de ácido tartárico monoacetilado, c) fracción de ácido tartárico, d) fracción de ácido acético, e) hidrógeno (Whitehurst, 2004).	35
Figura 9. Filtrado de xoconostle	43
Figura 10. Fases de extracción de los compuestos del xoconostle de la emulsión doble. De izquierda a derecha: 1) emulsiones dobles, 2) separación de la fase acuosa externa y la emulsión primaria, 3) adición de etanol y metanol a la emulsión primaria restante (agitación), 4) separación de los compuestos, aceite y restos de aislado proteico, 5) separación de los compuestos (sobrenadante final).	48
Figura 11. Evolución de la estabilidad física de las emulsiones dobles con diferentes porcentajes de aislado proteico de suero de leche. En todas las fotos de izquierda a derecha se muestran los tratamientos: 1) ED con aislado proteico al 35%, 2) ED con aislado proteico al 30%, 3) ED con aislado proteico al 20%, 4) ED con aislado proteico al 10%.	62
Figura 12. Evolución del diámetro de gota de las emulsiones dobles. EDX: emulsión doble con filtrado de xoconostle encapsulado, EDC: emulsión doble control con agua destilada encapsulada.	65
Figura 13. Comportamiento de las emulsiones en la prueba de inhibición de radical ABTS durante el periodo del experimento. EDX: emulsión doble con filtrado de xoconostle, EDC: emulsión doble control con agua destilada.	73
Figura 14. Comportamiento de las emulsiones en la prueba de inhibición de radical DPPH durante el periodo del experimento. EDX: emulsión doble con filtrado de xoconostle encapsulado, EDC: emulsión doble control, con agua encapsulada.	76

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de productos cárnicos emulsionados.....	10
Tabla 2. Propiedades de diferentes tipos de emulsiones.	23
Tabla 3. Formulaciones de los productos cárnicos elaborados en este experimento.	50
Tabla 4. Caracterización del filtrado de xoconostle.	56
Tabla 5. Valores de pH de las emulsiones dobles elaboradas con diferentes porcentajes de aislado proteico de suero de leche.....	60
Tabla 6. Evolución de los contenidos de fenoles totales y flavonoides en la ED con filtrado de xoconostle encapsulado EDX.	70
Tabla 7. Resultados de los análisis proximales de los productos cárnicos elaborados. ...	80
Tabla 8. Valores de pH de los productos cárnicos emulsionados respecto al tiempo.....	82
Tabla 9. Resultados del análisis de perfil de textura de los productos cárnicos reformulados con ED.	89
Tabla 10. Contenido de compuestos fenólicos en productos cárnicos.	92
Tabla 11. Porcentajes de inhibición de radical ABTS de los productos cárnicos.	95
Tabla 12. Porcentajes de inhibición de radical DPPH de los productos cárnicos.	98
Tabla 13. Contenido de MAD en los productos cárnicos.....	102

Resumen

El experimento se dividió en tres etapas para determinar de forma clara la influencia de la reformulación de los productos cárnicos con emulsión doble (ED) y el porqué de los resultados obtenidos.

En la primera etapa se realizó la evaluación de las propiedades funcionales del filtrado de xoconostle, así como la selección y evaluación de la ED que se incorporó en los productos cárnicos. Respecto a las propiedades funcionales del filtrado del fruto, estas fueron muy buenas debido a que se encontraron buenos contenidos de fenoles y flavonoides, los cuales correspondieron a 235.32 ± 1.18 mg EAG/100 g de fruto y 145.70 ± 4.29 mg EQ/100 g de fruto respectivamente, lo anterior se vio reflejado en las pruebas de capacidad antioxidante ABTS y DPPH, en la primera se obtuvo una concentración de 240.93 ± 1.39 mg EAA/100 g de fruto, mientras que para la prueba DPPH se obtuvo una concentración de 568.79 ± 1.90 mg EAA/100 g de fruto. Por otra parte, el pH del filtrado correspondió a 3.17 ± 0.005 . Posteriormente se formularon 4 emulsiones dobles con diferentes concentraciones de aislado proteico de suero de leche, a estas se les midió el pH, y se monitoreo la estabilidad física de las mismas, en tal caso se seleccionó la formulación con aislado proteico al 35% como adecuada para su incorporación a un producto cárnico emulsionado al mostrar un pH adecuado y permanecer estable más de un mes. Después de conocer la formulación adecuada, se elaboraron 2 emulsiones para monitorear las variaciones en los diámetros de gota de las emulsiones, en una se encapsuló filtrado de xoconostle (EDX), mientras que en la segunda se encapsuló agua destilada (EDC), se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$), ambas exhibieron un buen comportamiento durante 35 días de almacenaje, sin embargo, se encontraron menos variaciones en la formulación con filtrado de xoconostle encapsulado. Posteriormente se evaluó el contenido de fenoles y flavonoides de la emulsión con filtrado de xoconostle (EDX), se encontraron diferencias significativas en ambas pruebas respecto al tiempo ($P < 0.05$), en los fenoles se encontraron decrementos de 107.63 ± 1.09 a 70.90 ± 2.18 mg EAG/100 ml de emulsión, por otro lado, en el contenido de flavonoides se

RESUMEN

encontraron decrementos de 74.04 ± 0.82 a 30.71 ± 1.42 mg EQ/100 ml de emulsión después de 35 días de almacenaje. Lo anterior se vio reflejado en las pruebas de capacidad antioxidante, para estas, nuevamente se formularon 2 emulsiones dobles, EDX y EDC, en ambas pruebas existió una capacidad antioxidante superior en EDX con respecto al control EDC ($P < 0.05$). Aunque el comportamiento de EDX en las pruebas ABTS y DPPH fue diferente, en ambas pruebas se logró conservar un buen porcentaje de la actividad antioxidante inicial, después de 35 días.

La segunda etapa consistió en la evaluación fisicoquímica de los productos cárnicos reformulados con ED. A los productos cárnicos se les realizaron pruebas proximales (humedad, proteína, grasa y cenizas) donde se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$). Los productos reformulados con ED exhibieron mayores contenidos de humedad, proteína y cenizas respecto al control. Lo anterior se vio reflejado en el parámetro de grasa, donde se presentó un efecto inverso, los productos reformulados con ED exhibieron notables menores contenidos de grasa respecto al control. Posteriormente se monitoreó el pH de los productos cárnicos, se encontraron diferencias significativas tanto entre los tratamientos, así como en su evolución en el tiempo de la prueba ($P < 0.05$), los productos con mayor cantidad de ED mostraron mayor estabilidad respecto al control. Finalmente se realizó un análisis de perfil de textura a los diferentes productos cárnicos. Respecto a la dureza y masticabilidad, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos y su evolución respecto al tiempo ($P < 0.05$), ambos parámetros se mostraron en aumento respecto al tiempo en todos los tratamientos. Por otra parte, en los parámetros de cohesividad y elasticidad fueron pocas las diferencias significativas encontradas entre los tratamientos ($P < 0.05$), ambos parámetros fueron a la baja en todos los tratamientos.

La etapa 3 consistió en la evaluación de las propiedades funcionales de los productos cárnicos. Se evaluó el contenido de fenoles en los diferentes tratamientos, se encontró mayor contenido de estos compuestos en los tratamientos reformulados con ED ($P < 0.05$), tal contenido de fenoles fue proporcional al contenido de ED en los productos cárnicos. Lo anterior se vio reflejado en las

RESUMEN

pruebas de actividad antioxidante (ABTS y DPPH), en ambas pruebas existieron diferencias significativas entre los tratamientos y entre estos mismos respecto al tiempo ($P < 0.05$). En ambas pruebas la capacidad antioxidante fue superior en los productos reformulados con ED, aunque con comportamientos diferentes, al día final de evaluación en ambas pruebas lograron conservarse buenos porcentajes de la actividad antioxidante inicial, efecto atribuido a las propiedades de protección de la ED. Respecto a la estabilidad oxidativa, de igual forma se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, así como en la evolución de estos respecto al tiempo ($P < 0.05$), en esta prueba se estimó como los productos más estables a los productos que mostraron un menor incremento del compuesto (MAD) durante el periodo de almacenaje respecto al contenido final, en esta prueba los 3 tratamientos reformulados con mayor contenido de emulsión en su formulación presentaron una mejor estabilidad oxidativa respecto al control.

1 Introducción

Los productos cárnicos y avícolas son una categoría de alimentos con atributos tanto positivos, así como aspectos negativos. Estos son la principal fuente de muchos compuestos bioactivos incluyendo hierro, zinc, ácido linoleico conjugado (principalmente rumiantes) y vitaminas. Sin embargo, las carnes procesadas son también asociadas con nutrientes y perfiles nutricionales que son a menudo considerados como negativos (Decker & Park, 2010). Los productos cárnicos emulsionados y salchichas molidas pueden contener hasta un 37% de grasa en su formulación. El alto contenido de grasa en este tipo de productos resulta en un obstáculo para consumidores propensos a enfermedades cardiovasculares y/o que sufren de sobrepeso. Los altos consumos de grasas, así como la calidad en la composición de estas, han mostrado jugar un papel importante en el nivel de riesgo de los consumidores a sufrir enfermedades crónicas relacionadas con la alimentación (Weis *et al.*, 2010). Por otra parte, debido a la cantidad y frecuencia de consumo, contribución a la ingesta de distintos nutrientes, diversidad de presentaciones, la posibilidad de modificar su composición usando ingredientes no cárnicos, alta aceptabilidad del consumidor etc., la carne y los productos cárnicos son excelentes vehículos para la incorporación de compuestos bioactivos sin generar cambios en los hábitos alimenticios de los consumidores. Un alimento puede ser considerado funcional, si más allá de su valor nutricional intrínseco, ha demostrado satisfactoriamente tener un efecto beneficioso sobre una o más funciones selectivas del organismo, de tal modo que resulta apropiado para mejorar el estado de salud y bienestar y/o para reducir el riesgo de enfermedades (Olmedilla-Alonso & Jiménez-Colmenero, 2014).

Se conoce como compuesto bioactivo a cualquier sustancia que pueda ser considerada un alimento o parte de uno, y pueda proveer beneficios médicos o a la salud incluyendo la prevención y tratamiento de enfermedades (Weis *et al.*, 2010). Los compuestos fenólicos son derivados del metabolismo secundario de las plantas, quienes los sintetizan como un mecanismo de defensa. En recientes años dichos compuestos están recibiendo considerable atención de la ciencia y la industria alimentaria por sus efectos beneficiosos a la salud, especialmente por su capacidad

INTRODUCCIÓN

antioxidante. Se define como antioxidante, a cualquier sustancia que cuando está presente en bajas concentraciones comparado con un sustrato oxidable, significativamente retarda o inhibe la oxidación de un sustrato. Por otra parte, los radicales libres, son moléculas con un electrón desapareado y buscan electrones de otras moléculas para ganar estabilidad. Moléculas como proteínas, lípidos o ADN funcionan como objetivos para estos radicales libres, que pueden conducir a un proceso de deterioro llamado oxidación (Gutiérrez-Grijalva *et al.*, 2016). Se ha encontrado que incluir extractos vegetales en la formulación de productos cárnicos procesados incrementa el contenido de antioxidantes y esto puede contribuir a la prevención de enfermedades relacionadas con el consumo de carne. También se ha demostrado que el consumo de alimentos (carne) ricos en antioxidantes naturales puede reforzar la actividad de antioxidantes endógenos sobre enfermedades degenerativas vinculadas con el estrés oxidativo (Falowo, Fayemi, & Muchenje, 2014).

El xoconostle es un fruto ampliamente consumido en nuestro país, fresco o procesado, este fruto ha sido estudiado por la presencia de compuestos bioactivos como betacianinas y compuestos fenólicos. Los efectos beneficiosos atribuidos al consumo de este fruto, son debido a su capacidad antioxidante relacionada con la composición y concentración de compuestos fenólicos (Osorio-Esquivel *et al.*, 2011). A pesar de todos sus beneficios, el xoconostle es altamente perecedero y la estabilidad de sus compuestos bioactivos es afectada por múltiples factores del ambiente, limitando su uso en la industria y privando al consumidor de una rica fuente de antioxidantes de origen natural (Pérez-Alonso *et al.*, 2015).

La encapsulación es una tecnología que permite atrapar componentes sensibles en una matriz homogénea o heterogénea para su protección, en este proceso se forman películas delgadas o membranas semipermeables usando diversos materiales como los biopolímeros (García Ceja & López Malo, 2012; Nazzaro *et al.*, 2012). Las emulsiones dobles o múltiples son versiones más complejas de las emulsiones convencionales. Estas pueden considerarse como una emulsión dentro de otra emulsión, es decir, una fase dispersa que a su vez contiene gotas de otra

INTRODUCCIÓN

fase dispersa más pequeñas (Garti & Aserin, 1996). De acuerdo con sus características estos sistemas pueden ofrecer algunas ventajas para su aplicación en alimentos desde que se han encontrado como una estrategia potencialmente útil para producir alimentos bajos en calorías y reducidos en grasa, ayudar al enmascaramiento de sabores, prevención de la oxidación y mejoramiento de las características sensoriales de los alimentos, así como la protección y liberación controlada de ingredientes lábiles durante la alimentación y digestión (Jiménez-Colmenero, 2013b).

2 Marco teórico

2.1 La carne

La carne es el producto pecuario de mayor valor. Posee proteínas y aminoácidos, minerales, grasas y ácidos grasos, vitaminas y otros componentes bioactivos, así como pequeñas cantidades de carbohidratos. Desde el punto de vista nutricional, la importancia de la carne deriva de sus proteínas de alta calidad, que contienen todos los aminoácidos esenciales, así como de sus minerales y vitaminas de elevada biodisponibilidad (FAO, 2016).

2.1.1 Composición del músculo

En mayor porcentaje el músculo es agua, en el músculo vivo, existe un promedio de contenido de agua del 75% del peso de este; sin embargo, esto puede variar en el músculo *postmortem* (65-80%). Dentro de las células musculares, el agua es el primer componente del fluido sarcoplásmico (citoplásmico). Es importante en la termorregulación, como un medio para muchos procesos celulares y transporte de nutrientes dentro de la célula, entre células, y entre el músculo y el sistema vascular. El segundo mayor componente del músculo es la proteína, esta conforma un promedio del 18.5% del peso del músculo, aunque puede variar del 16-22%. Las proteínas tienen la responsabilidad de mantener la estructura y organización del músculo y células musculares, de igual forma estas son importantes en el proceso de contracción. El contenido de lípidos en el músculo puede variar debido a muchos factores que incluyen la edad del animal, nivel de nutrición y tipo de músculo, el contenido promedio de estos en el músculo esquelético corresponde a 3% del peso, pero puede variar del 1-13%. En el músculo esquelético, los lípidos juegan un rol en el almacenaje de energía, estructura de membrana y en otros varios procesos del órgano, algunos lípidos se almacenan dentro de la célula muscular, sin embargo, dentro de la célula de un músculo la mayor parte de estos se encuentran entre haces musculares. Los carbohidratos representan un bajo porcentaje del tejido muscular, representando el 1% del peso total del músculo, aunque puede variar de un 0.5-1.5%, el carbohidrato presente en mayor porcentaje es el glucógeno. Otros

carbohidratos incluyen glucosa, intermediarios del metabolismo del glucógeno y otros mono y disacáridos (Toldrá, 2010).

2.1.2 Estructura del músculo y la conversión de músculo a carne

El músculo esquelético tiene una compleja organización, en parte para permitir al músculo transmitir eficientemente fuerza originada en las miofibrillas al músculo y finalmente a la extremidad. Una relativamente gruesa capa de tejido conectivo, epimisio, encierra todo el músculo. En la mayoría de los músculos el epimisio es continuo, con tendones que relacionan los músculos con los huesos. El músculo es subdividido en paquetes o agrupaciones de células musculares que están rodeadas por otra envoltura de tejido conectivo el perimisio. Una delgada capa de tejido conectivo, el endomisio, rodea las células musculares, este se encuentra por encima de la membrana de la célula muscular (sarcolema) (Toldrá, 2010).

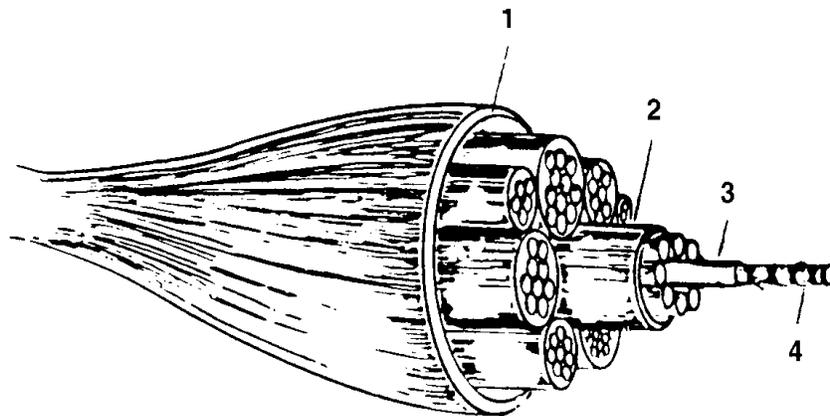


Figura 1. Elemento estructural del músculo esquelético: 1) epimisio, 2) perimisio, 3) endomisio, 4) fibra muscular (Belitz *et al.*, 2010).

Las células musculares son estriadas, lo que significa que cuando se ven bajo un microscopio, se observan patrones de bandas, o estriaciones distintas, dicha apariencia se debe a orgánulos especializados, miofibrillas, las cuales se encuentran en las células musculares. Las miofibrillas son la maquinaria contráctil de la célula, y al igual que las células en las que residen están muy bien organizadas. Cuando se examina una miofibrilla puede observarse que es un orgánulo de forma cilíndrica, compuesto de unidades repetitivas, dichas unidades

MARCO TEÓRICO

se conocen como sarcómeros, conteniendo en cada uno de estos, todos los elementos estructurales necesarios para realizar el acto físico de contracción a nivel muscular. La estructura del sarcómero es responsable de la apariencia estriada de la célula muscular, dichas estriaciones surgen de la alternancia de proteínas densas (bandas-A) y menos densas (bandas-I) dentro de las miofibrillas. Al biseccionar las bandas-I, son líneas oscuras conocidas como líneas Z, la estructura entre las dos líneas Z es un sarcómero. Las bandas menos densas bandas-I están hechas primariamente de filamentos delgados, mientras que las bandas-A están conformadas de filamentos gruesos y algunos filamentos delgados superpuestos. La columna vertebral de los filamentos delgados se compone principalmente de la proteína actina, mientras que los componentes más grandes de los filamentos gruesos están compuestos por miosina. Esta última consiste en una región de cola o varilla que forma la columna vertebral del filamento grueso y una cabeza globular, región que se extiende desde el filamento grueso e interactúa con la actina en el filamento delgado para que ocurra la contracción, los filamentos gruesos y delgados interactúan a través de la región de la cabeza de la miosina, a este complejo a menudo se le conoce como complejo actomiosina. En el músculo *postmortem* la unión de estos enlaces se vuelve irreversible y también se conocen como enlaces de rigor ya que son el génesis de la rigidez que se desarrolla en el músculo *postmortem*. La cabeza globular de la miosina también tiene actividad enzimática; puede hidrolizar al ATP y liberar energía en el músculo vivo, durante la contracción la actividad de la ATPasa de la miosina proporciona energía para que esta se una a la actina para finalmente tirar de los filamentos delgados hacia el centro del sarcómero, esto acorta la miofibrilla, la célula muscular y eventualmente el músculo para producir contracción. La actina y miosina pueden disociarse cuando una nueva molécula de ATP se une a la cabeza de la miosina. En el músculo *post rigor*, el suministro de ATP es agotado. Lo que hace que los enlaces de actomiosina se vuelvan esencialmente permanentes. En la carne, la cantidad de acortamiento de las fibrillas tendrá una influencia sobre la ternura de esta (Huff Lonergan, Zhang, & Lonergan, 2010). A medida que el músculo se convierte en carne, ocurren muchos cambios que incluyen: 1) agotamiento gradual de la energía disponible, 2) un

cambio de metabolismo aeróbico a metabolismo anaeróbico que favorece la producción de ácido láctico resultante en el pH del tejido disminuyendo de casi la neutralidad a 5.4-5.8, 3) un aumento en la fuerza iónica, en parte, debido a la incapacidad de las bombas de calcio, sodio y potasio dependientes de ATP para funcionar, 4) incapacidad creciente de la célula para mantener condiciones de homeostasis (Toldrá, 2010).

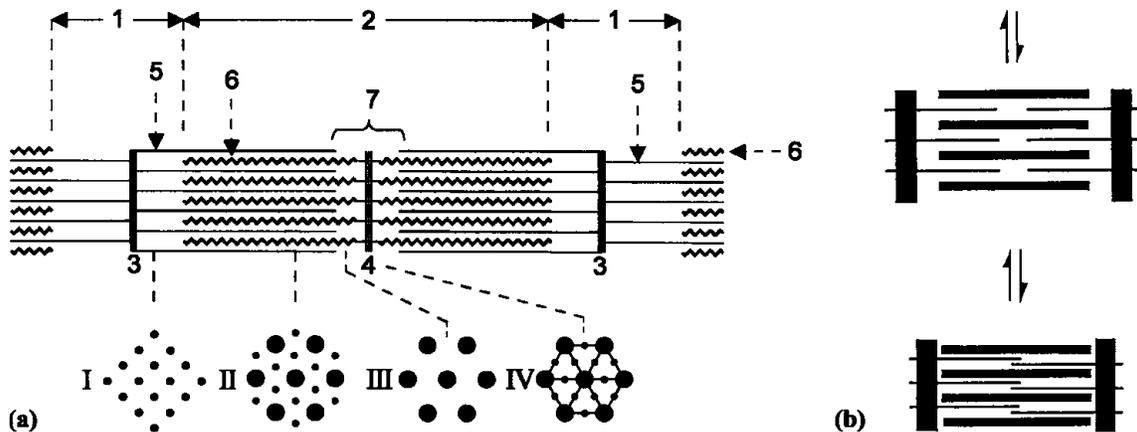


Figura 2. Representación esquemática de un sarcómero en: (a) relajación (b) contracción. 1 banda I, 2 banda A, 3 línea Z, 4 línea M, 5 filamentos delgados, 6 filamentos gruesos, 7 zonas H. Sección transversal: I filamentos finos cerca de la línea Z, II superposición de filamentos gruesos y delgados, III filamentos gruesos, IV línea M (Belitz *et al.*, 2010).

2.1.3 Producción de carne en México y su consumo

En nuestro país, dentro del sector alimentario la carne y los productos cárnicos ocupan un lugar muy importante tanto en la producción como en el consumo de la familia mexicana, según datos recopilados por el consejo mexicano de la carne, para el año 2017, la producción de carne en canal total correspondió a 6,590 miles de toneladas, de este total de producción la mayor cantidad correspondió a la carne de pollo (3,207 miles de toneladas 48.67%), el segundo lugar lo ocupó la carne de bovino (1,925 miles de toneladas 29.22%), en tercer lugar se encontró la carne de cerdo (1,440 miles de toneladas 21.81%). Por otra parte, la producción general de productos cárnicos procesados correspondió a 930 miles de toneladas. Para este mismo año el mayor consumo per cápita fue el de la carne de pollo con un consumo de 32.3 kg/persona (42% del total), seguido por la carne de cerdo con un consumo

de 19.2 kg/persona (25% del total), la carne de bovino con un consumo de 15.4 kg/persona (20% del total), finalmente el consumo per cápita para productos cárnicos procesados fue de 8.7 kg/persona (10% del consumo total). De acuerdo con datos en años anteriores y lo reportado en el año 2017, la producción de carne y productos cárnicos, tanto como su consumo, muestran una tendencia en aumento, lo cual, a pesar de las problemáticas de alimentación relacionadas con el consumo de carne y productos cárnicos, representan nuevas oportunidades para este tipo de productos (Consejo Mexicano de la Carne, 2018).

2.2 Emulsión cárnica

El término emulsión cárnica se ha usado como un término general para describir a una mezcla de carne finamente picada, este aún es muy cuestionado. En emulsiones frías, no se trata de una verdadera emulsión, sino de un medio multifase. La fase dispersa en sí misma es una multifase que contiene partículas de grasa sólida con un tamaño que varía de 1-50 μm , gotas de grasa líquida y burbujas de aire. La fase continua es una mezcla de agua, proteínas, sal, carbohidratos y muchas partículas fibrosas. Este medio es estructurado, pero no homogéneo ni isotrópico, aun así, existe alguna controversia con respecto al mecanismo involucrado en la estabilización de la emulsión cárnica (Toldrá, 2010). Tradicionalmente la teoría más aceptada muestra el comportamiento de la masa cárnica como una clásica emulsión aceite en agua, donde las partículas de grasa fueron dispersas en una fase continua, y las proteínas cárnicas forman una película interfacial alrededor de las partículas de grasa, por otra parte, otros estudios han indicado que es la gelificación de las proteínas cárnicas el principal factor estabilizante (Gordon & Barbut, 1992).

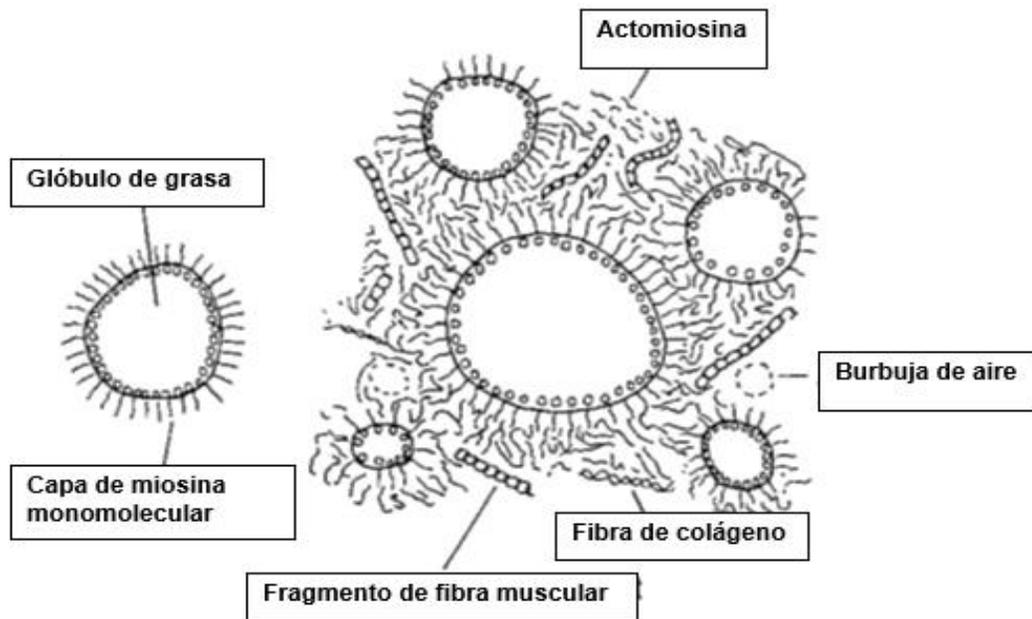


Figura 3. Representación esquemática de una emulsión cárnica: salchicha (Belitz *et al.*, 2010).

2.2.1 Productos cárnicos emulsionados

Los productos cárnicos emulsionados son generalmente definidos según su apariencia: las partículas de carne son tan finas que no pueden ser visualmente distinguibles en la superficie lisa del producto. Este tipo de productos se consumen en todo el mundo, cientos de diferentes productos están disponibles para los consumidores, estos se pueden clasificar de acuerdo a varios criterios (ver tabla 1). Desde el punto de vista de la elaboración, los productos cárnicos emulsionados son generalmente clasificados principalmente por el método de estabilización usado en su elaboración. Estos productos pueden ser ya sea crudo-cocidos o pre-cocidos. Para productos cárnicos, debería ser subrayado que el paso de la emulsificación es siempre seguido por un tratamiento térmico con el objetivo de estabilizar la masa multifase con el fin de alcanzar ciertas propiedades sensoriales. Los productos crudo-cocidos son a menudo llamados emulsiones frías, en estos productos los componentes son crudos cuando están finamente triturados, la mezcla viscosa resultante se divide y se envía a tratamiento térmico. Los productos cárnicos pre-

cocidos o llamados también emulsiones calientes, son principalmente caracterizados por 2 tratamientos térmicos. En el primero se realiza un pre-cocido a algunos materiales crudos (tejido crudo), usualmente en el rango de 80°C, y el segundo para la cocción del producto final (Toldrá, 2010).

Tabla 1. Clasificación de productos cárnicos emulsionados.

Criterio de clasificación	Ejemplo
Forma	-Salchichas, bolas de carne y pasteles.
Tamaño	-Calibre chico: salchichas Frankfurt, Viena, salchichas para hot dog. -Calibre grande: Bologna, salchichas Lyoner.
Composición	-Cerdo, res, pollo pura o mezcla, cereales, vegetales, varios sazónadores y saborizantes.
Origen geográfico	-Mortadela (Italia). -Salchicha Lyoner: espuma o emulsión de hígado de pato cebado (Francia). -Salchichas de pollo con aceite. -Frankfurt, Bratwurst, Bockwurts, Weisswurst, salchicha fina de hígado (Alemania). -Salchicha Cracovia (Polonia). -Salchicha Yor (Tailandia). -Luncheon (Australia). -Salchicha de hígado de ternera vienesa (Austria). -Salchicha fina de hígado (Rusia, Sudáfrica).
Tratamiento térmico	-Cocinadas, esterilizadas, ahumadas.
Forma de consumo	-Cocidas, frías o recalentadas.
Producto final o ingredientes	-Producto final: salchichas o paté de hígado. -Ingredientes como una mezcla básica con partículas gruesas: búfalo, jamón grueso o salchichas de Cracovia.
Principal tratamiento estabilizador.	-Productos cárnicos crudo-cocidos: emulsiones frías. -Productos cárnicos cocidos y pre-cocidos: emulsiones calientes (salchichas hígado fino/patés).

Fuente: (Toldrá, 2010).

2.2.2 Factores de estabilidad en emulsiones cárnicas

La estabilidad en productos cárnicos emulsionados está influenciada principalmente por el valor de pH, fuerza iónica, rango de punto de fusión de los lípidos y contenido proteico. En sistemas finamente molidos como las salchichas escaldadas con carácter de emulsión, la temperatura de molido es otro factor importante para determinar la estabilidad, una temperatura de 14 °C es señalada como óptima, productos inestables resultan en una temperatura de procesamiento >20 °C. Dentro del aspecto de la emulsión, una película proteica mono-molecular es formada alrededor de los glóbulos de grasa. La importancia de los diferentes componentes proteicos como formadores de películas disminuyen en el siguiente orden: miosina > actomiosina > proteínas sarcoplásmicas > actina. Las cabezas hidrófobas de miosina evidentemente se sumergen en los glóbulos de grasa, mientras los tallos interactúan con la actomiosina en la fase continua (Belitz *et al.*, 2010).

2.3 La industria cárnica y la alimentación actual

La industria cárnica, al igual que otros sectores de la alimentación, está experimentando importantes transformaciones como consecuencia de continuas innovaciones tecnológicas y cambios en las demandas de los consumidores, entre ellas las relacionadas con la búsqueda de una alimentación más saludable. Desde el punto de vista de la alimentación/nutrición, la carne es un elemento fundamental de la dieta ya que concentra y proporciona un gran número de nutrientes de alto valor biológico y elevada biodisponibilidad. No obstante, también su consumo contribuye a la ingesta de grasas, ácidos grasos saturados, colesterol, sal y otras sustancias que en cantidades inapropiadas y dependiendo de una variedad de factores pueden tener consecuencias negativas para la salud. Diferentes estudios han señalado la existencia de la asociación entre el consumo de carne y el riesgo de padecer alguna de las enfermedades crónicas no transmisibles más importantes de nuestra sociedad. Por otra parte, la frecuencia y nivel de consumo de la carne son elevados, lo que facilita una notable contribución a la ingesta de distintos nutrientes. Además, debido al elevado grado de aceptación por los consumidores, la gran versatilidad de presentación y la considerable aptitud para experimentar procesos de reformulación (cambios de composición) usando ingredientes de

diversas procedencias etc., los alimentos cárnicos son excepcionales para actuar como vehículo para condicionar la presencia de compuestos bioactivos sin modificar los hábitos alimenticios del consumidor (Olmedilla-Alonso & Jiménez-Colmenero, 2014), logrando de esta forma no solo mejorar la imagen de la industria cárnica, sino también satisfacer las nuevas demandas de los consumidores. Entre las enfermedades crónicas no transmisibles relacionadas con el consumo de carne mencionadas anteriormente encontramos algunos ejemplos como: males cardiovasculares, cáncer, obesidad y diabetes tipo 2 (Schönfeldt & Gibson, 2008; McAfee *et al.*, 2010).

2.4 Alimentos funcionales

En algo menos de un siglo, hemos asistido a numerosos avances en la historia de la humanidad. Algunos de ellos en terrenos tan importantes y esenciales como la alimentación, o deberíamos ya comenzar a hablar sobre nutrición, para lograr una diferenciación, un tanto artificial por cuanto las diferencias semánticas son mínimas, entre el mero hecho del consumo de alimentos para subsistir (alimentación) y el consumo de estos para lograr una acción reparadora, específica y adaptada a cada necesidad fisiológica (nutrición) (Farjas Abadía, 2003). El término “alimento funcional” nació en Japón. Los japoneses fueron los primeros en observar que los alimentos pueden cumplir un rol más allá del placer gastronómico, así como el suministro de energía y de nutrientes al organismo humano. En este rubro Japón es un país pionero donde la mayoría de los alimentos funcionales están en el mercado y el primer país en legislar estos productos en el FOSHU (Alimentos de uso específico en la salud) solo productos que cumplen con ciertos requisitos. Posteriormente en Europa y América incorporaron después este concepto de un valor agregado al producto, es importante resaltar que los alimentos funcionales deben ser como tal un alimento y no una medicina. Los efectos beneficiosos deben ser obtenidos por un consumo en cantidades normales de un alimento funcional dentro de una dieta normal (López-Varela *et al.*, 2002; Naveen Kumar *et al.*, 2015). Básicamente, con los alimentos funcionales se busca mejorar ciertas funciones fisiológicas, como prevenir e incluso de curar enfermedades en el consumidor (Roberfroid, 2000). El consumo regular de este tipo de alimentos debería reducir la

incidencia de enfermedades crónicas, de tipo cardiovascular, cáncer, diabetes, hipertensión y osteoporosis (López-Varela *et al.*, 2002).

2.4.1 Productos cárnicos funcionales

La carne y los productos cárnicos son generalmente reconocidos como altamente nutritivos, que poseen cantidades importantes de proteína (de alta calidad y que contienen aminoácidos esenciales para la salud humana), ácidos grasos, vitaminas (principalmente las del complejo B, siendo una de las mayores fuentes de vitamina B12), minerales (principalmente hierro y zinc de alta biodisponibilidad y manganeso) entre otros compuestos bioactivos (Olmedilla-Alonso *et al.*, 2013). Además, se ha mencionado anteriormente que tanto la carne y los productos cárnicos presentan excelentes aptitudes para su enriquecimiento sin modificar los hábitos alimenticios de los consumidores.

Algunos artículos de revisión han intentado establecer el papel y los aspectos a considerar para el desarrollo de productos cárnicos más saludables. El desarrollo de productos cárnicos funcionales se fundamenta en distintas estrategias para favorecer la presencia de compuestos beneficiosos y/o limitar la de otros con implicaciones negativas a la salud. Lo anterior se lleva a cabo mediante 3 principales estrategias que van de la granja a la mesa: a) prácticas de producción animal (genética y nutrición), b) sistemas de transformación de la carne (reformulación de productos), c) las que consideran aspectos relacionados con las condiciones de procesamiento, almacenamiento y consumo (Olmedilla-Alonso *et al.*, 2013; Naveen Kumar *et al.*, 2015).

2.4.1.1 Prácticas de producción animal

Las prácticas de producción animal representan la primera oportunidad para modificar la presencia de compuestos bioactivos. La composición del tejido animal, y por lo tanto de las canales y cortes comerciales (materias primas cárnicas), varía no solo según la especie, sino también de acuerdo a la raza, edad, sexo, tipo de alimentación, etc. Varias estrategias están disponibles para introducir cambios *in vivo*, aunque estos compuestos deben cumplir 2 requisitos esenciales: por un lado, tener una eficacia demostrada como compuestos bioactivos y por otro ser

modificables en los tejidos de los animales. Estos compuestos incluyen lípidos (contenido de grasa, composición de ácidos grasos o nivel de colesterol), vitaminas liposolubles y minerales. Algunos de los procedimientos más relevantes son: nutrición y gestión de alimentación y estrategias genéticas (selección, modificación genética, etc.) (Olmedilla-Alonso *et al.*, 2013).

2.4.1.1.1 Estrategias genéticas

Los mejoramientos genéticos ayudan a producir cambios que son favorables desde una perspectiva económica y productiva relacionada con la producción de alimentos saludables para la dieta humana, lo anterior incluye: a) selección y cruce, b) uso de marcadores genéticos para la expresión de rasgos cuantitativos que incluyen características de la canal, contenidos de grasa y perfil de ácidos grasos, métodos biotecnológicos como la clonación, transgénesis o transgénesis seguida por clonación buscando la mejora de aspectos como el perfil de ácidos grasos (Lai *et al.*, 2006), c) sistemas de producción de carne *in vitro*, carne producida en laboratorio, este tipo de producto ha sido propuesto como seguro y ambientalmente beneficioso evitando el sacrificio de animales y como una fuente de tejido muscular nutricional (Datar & Betti, 2010; Post, 2012).

2.4.1.1.2 Nutrición y gestión de alimentación

Este rubro se refiere a modificar la dieta de los animales para reducir o incrementar un componente particular en el músculo. Entre los compuestos bioactivos a los que se ha puesto más atención en los productos cárnicos funcionales debido a su implicación en la salud están los lípidos (cualitativa y cuantitativamente). Ejemplos claros son el enriquecimiento de dietas animales, por medio de estrategias de alimentación que envuelven el uso de plantas y fuentes marinas (algas o pescados) se ha buscado el aumento del contenido de ácidos grasos poliinsaturados en carnes de oveja, res o cerdo (Raes *et al.*, 2004; Scollan *et al.*, 2006). De igual forma el enriquecimiento de carne de pollo, cerdo, res y oveja con ácido linoleico conjugado (Raes *et al.*, 2004 ; De La Torre *et al.*, 2006).

2.4.1.2 Condiciones de producción, conservación y consumo

Distintos factores asociados a las condiciones de producción, conservación y consumo pueden afectar de muchas maneras a la presencia de compuestos

bioactivos en los productos cárnicos. Los cambios antes mencionados pueden generar un incremento en la densidad de algunas sustancias, y disminución de otras o incluso la formación de un grupo numeroso que, además de afectar las propiedades sensoriales de los alimentos, pueden presentar efectos negativos para la salud. Lo anterior es el caso de las nitrosaminas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, aminos heterocíclicos, aminos biógenas, productos de la oxidación etc. Adicionalmente otros pueden producir pérdida de biodisponibilidad de algunos compuestos bioactivos. Finalmente también se pueden producir efectos beneficiosos, por ejemplo la generación de péptidos bioactivos (antihipertensivos, antioxidantes, antifatiga, etc.) o la formación de CLA (Olmedilla-Alonso *et al.*, 2013).

2.4.1.3 Reformulación de productos cárnicos

Entre las estrategias tecnológicas utilizadas para diseñar y desarrollar alimentos funcionales, están todas las basadas en la transformación de los alimentos. La gran versatilidad en la modificación de la composición de los alimentos puede ser alcanzada gracias a un amplio rango de opciones para cambiar los ingredientes usados en su preparación y consecuentemente en la presencia de compuestos bioactivos. Con esta estrategia un gran número de enfoques puede ser usado para remover, reducir, incrementar y/o reemplazar diferentes componentes con actividad fisiológica, la modificación de los procesos de formulación de los alimentos también hace posible el uso de ingredientes tradicionales, y otros ingredientes específicamente diseñados con ciertos atributos (naturaleza o composición) que confieren propiedades saludables (Jiménez-Colmenero, 2013b).

2.5 Opciones tecnológicas para el remplazamiento de grasa animal en productos cárnicos emulsionados

Comparado con el habitual uso de grasas animales, nuevos materiales lipídicos (origen vegetal o marino) han mostrado diferentes características fisicoquímicas, lo cual puede significar que los procesos de elaboración de nuevos productos deben ser ajustados para aportar los atributos deseados en los productos reformulados. La forma de incorporar lípidos marinos o vegetales, naturales o procesados, en productos cárnicos, va desde la adición de forma directa de aceites líquidos, incluyendo aceites o grasas sólidas, a la incorporación en forma de encapsulados o

pre-emulsionados como ingredientes vegetales. El potencial de este enfoque varía, entre otros factores, de acuerdo al tipo de producto (Jiménez-Colmenero, 2007).

2.5.1 Incorporación de aceites comestibles líquidos en productos cárnicos

Los aceites se encuentran entre los materiales más ampliamente usados para el reemplazo de la grasa animal. Debido lo anterior a que estos son líquidos a temperatura ambiente e incluso en refrigeración, sin embargo, su incorporación en productos cárnicos puede presentar algunas dificultades. El aceite necesita ser incorporado en forma de gotas estables, las cuales no presenten coalescencia durante la elaboración del producto, lo cual resultaría en la pérdida de líquido y una pobre calidad (Jiménez-Colmenero, 2007). Otro aspecto vital es que estos son más susceptibles a la oxidación debido a su composición rica en ácidos grasos insaturados (Decker & Park, 2010).

Se ha incorporado aceite de diversas formas en distintos productos cárnicos, las condiciones de incorporación dependieron también del tipo de producto, así como de las características y la cantidad de aceite incorporado, algunos ejemplos son: aceites agregados de forma directa en empanadas de carne (Dzudie *et al.*, 2004), salchichas fermentadas (Bloukas *et al.*, 1997), y salami (Severini *et al.*, 2003) entre otros. Sin embargo Bloukas *et al.* (1997) reportaron que la incorporación directa de aceite de oliva en salchichas fermentadas resultó en una apariencia desagradable y una estructura muy suave. Finalmente y como se ha mencionado anteriormente la temperatura de molido en este tipo de productos es crucial para determinar la estabilidad de la emulsión de las masas cárnicas. Aunque la ideal temperatura de molido es altamente dependiente del grado de picado y porcentaje de las grasas presentes en la formulación (Whiting, 1987) .

2.5.2 Incorporación de aceites pre-emulsionados en productos cárnicos

La pre-emulsificación es generalmente usada cuando se incorporan grasas que son difíciles de estabilizar. Una pre-emulsificación es una emulsión aceite-agua con emulgente, típicamente proteína de origen no cárnico. Esta se elabora antes del producto y se incorpora como un ingrediente graso en productos cárnicos. Esta

tecnología, la cual no hace uso de proteína cárnica como emulgente, mejora la capacidad de unión de grasa al sistema, ya que los aceites pueden estabilizarse o inmovilizarse en una matriz proteica. Esto reduce las posibilidades de que el aceite a granel se separe físicamente de la estructura del producto cárnico y este permanezca estable en todas las posibles condiciones ambientales que ocurren durante el procesamiento, almacenamiento y consumo. Además de ser físicamente estables a través de la vida de anaquel de los productos en que se incorporan, las emulsiones aceite en agua constituyen un excelente medio para mejorar la estabilidad oxidativa de las grasas a granel, como una medida adicional preventiva se puede adicionar un antioxidante para inhibir la oxidación, además de que estos sistemas por su naturaleza son fáciles de dispersar en sistemas con alto contenido acuoso como los productos cárnicos (Djordjevic *et al.*, 2004). Debido a sus características fisicoquímicas la pre-emulsificación es adecuada para su uso en una amplia variedad de productos cárnicos (Jiménez-Colmenero, 2007).

2.5.3 Incorporación de aceites encapsulados

La industria alimentaria usa la microencapsulación para varios propósitos, como lo es la estabilización, y liberación controlada de sustancias activas, o para enmascarar sabores negativos (Kolanowski W. & Laufenberg, 2006). La microencapsulación de aceites facilita su manejo y la forma de incorporarlos a un producto alimentario, donde retrasan/inhiben la oxidación, o por su naturaleza ayudan a enmascarar olores y sabores, así como mejorar la biodisponibilidad de los ácidos grasos poliinsaturados (Garg *et al.*, 2006).

2.6 La oxidación y la salud humana

En bioquímica se considera oxidación a todo aquel proceso en el que ocurre una pérdida de electrones, captación de oxígeno o una cesión de hidrógeno (des-hidrogenación) y reducción a aquel otro en el cual se captan electrones o se pierden oxígenos. Todo proceso de oxidación va siempre acompañado de otro de reducción. Son reacciones de óxido-reducción o reacciones redox entre pares conjugados. En la naturaleza casi todo es oxidado por el oxígeno: las grasas se vuelven rancias, la goma pierde elasticidad, el papel se hace amarillento etc. Además de que estas reacciones de óxido-reducción son muy importantes en bioquímica, puesto que los

seres vivos obtienen la mayor parte de su energía libre a partir de ellas. Por otra parte, este oxígeno que es imprescindible para la vida puede ser también fuente de enfermedad a través de una producción incontrolada de radicales libres de oxígeno (RLO) que dañan las macromoléculas (lípidos, proteínas, hidratos de carbono y ácidos nucleicos) y alteran los procesos celulares (funcionalidad de las membranas, producción de enzimas, respiración celular, inducción génica, etc.). Un exceso de RL (moléculas o porciones de ellas, que presentan al menos un electrón desapareado en su orbital más externo y son extraordinariamente reactivos) rompen el equilibrio produciendo el llamado estrés oxidativo. Se producen durante las reacciones metabólicas, mientras las células del organismo transforman los alimentos en energía especialmente en situaciones de hiperoxia, ejercicio intenso e isquemia y también por exposición a determinados agentes externos como las radiaciones ionizantes o luz ultravioleta, contaminación ambiental, humo de tabaco etc. Por lo cual hay una serie de procesos patológicos atribuibles razonablemente al ataque de RL, o al menos estarían implicados en algunas de sus fases o secuencias bioquímicas. Por tal razón terapias antioxidantes y dietas ricas o enriquecidas con antioxidantes parecen prevenir o al menos disminuir el deterioro funcional orgánico originado por un exceso de estrés oxidativo (Elejalde Guerra, 2001).

2.6.1 Radicales libres

Los radicales libres son moléculas con un electrón desapareado y en busca de electrones de otras moléculas para ganar estabilidad. Moléculas como proteínas, lípidos o ADN, son conocidos objetivos para este tipo de moléculas (Radicales libres) lo cual puede llevar a un proceso deteriorativo llamado oxidación (Gutiérrez-Grijalva *et al.*, 2016).

2.6.2 Antioxidante

Es cualquier sustancia que cuando se presenta en pequeñas concentraciones comparada con un sustrato oxidable, significativamente retarda o inhibe la oxidación del sustrato, después de inhibir al radical, el antioxidante deberá ser capaz de formar un radical molecularmente estable con enlaces de hidrógeno adicionales para prevenir la oxidación (Gutiérrez-Grijalva *et al.*, 2016). Respecto de los alimentos, los antioxidantes sintéticos o naturales son aditivos que preservan a los alimentos del

campo a la mesa, en almacenaje o procesamiento. Los antioxidantes en los alimentos ayudan a mantener el nivel de nutrientes, textura, color, sabor, frescura, funcionalidad, aroma (Wilson *et al.*, 2017).

2.6.3 Oxidación de la carne y productos cárnicos y su influencia en la calidad

La oxidación se describe como una reacción dependiente de la presencia de oxígeno, deterioración oxidativa de los ácidos grasos saturados e insaturados. Dicha modificación es llevada a cabo por un mecanismo auto-catalítico de radicales libres que se llama auto-oxidación y este consiste en 3 fases: iniciación, propagación y terminación. 1) la iniciación ocurre mediante la presencia de agentes pro-oxidantes, o especies reactivas con oxígeno (ROS), así como cualquier condición que pueda favorecer a este tipo de reacciones lo cual resulta en la pérdida de un hidrógeno radical de los ácidos grasos insaturados. En ausencia de condiciones favorables para la oxidación, no ocurrirá la reacción entre los ácidos grasos y las moléculas de oxígeno debido al estado electrónico desigual y la barrera spin propuesta por este tipo de estados fundamentales. De esta forma, los ROS u otros agentes pro-oxidantes, después del tratamiento térmico, reducción, o reacción con la luz pueden producir radicales libres y de esta forma iniciar las reacciones primarias de la oxidación, 2) en la propagación el oxígeno molecular reacciona con el radical alquilo de un ácido graso insaturado que posteriormente resultara en la formación del radical peróxido. En una subsecuente reacción ocurre la formación de hidroperóxidos. Estos son productos primarios de la oxidación, son relativamente estables en condiciones moderadas de reacción (bajas temperaturas/ ausencia de pro-oxidantes, iones metálicos). Sin embargo, debido a las condiciones adversas presentes en alimentos cárnicos los hidroperóxidos pueden volverse susceptibles a más reacciones en cadena de radicales libres, como la isomerización y descomposición. De esta forma se producen ciertos productos secundarios como el malonaldehído (MAD), 3) en la reacción de terminación, los radicales reaccionan con distintas combinaciones de sustratos estables. Otros compuestos inestables se forman durante la reacción final de la oxidación, dichos compuestos afectan la calidad sensorial de la carne y los productos cárnicos. Los lípidos y sus derivados

ácidos grasos insaturados están presentes en los músculos como componentes estructurales de las membranas musculares como gotas de almacenamiento de triacilglicerol entre las fibras musculares, y como tejido adiposo. La forma y estabilidad de los ácidos grasos mencionados influyen en la calidad de la carne, tanto sensorial, así como la nutricional, en aspectos como el color, la pérdida por goteo y desarrollo de la rancidez oxidativa (Yogesh Kumar *et al.*, 2015). El atractivo de la carne está principalmente relacionado con el color y el sabor, cuando la carne se hace vieja la mioglobina se convierte en metmioglobina (forma oxidada) esto es la principal causa de rechazo del consumidor a la carne y productos cárnicos, la oxidación aumenta el grado de formación de la metmioglobina, esta actúa como un auto-catalizador para la oxidación lipídica lo cual además incrementa el grado de oxidación lipídica, y el deterioro del color y sabor del producto. El fenómeno de la oxidación en la carne también dependerá del grado de insaturación de los ácidos grasos, así como la concentración de antioxidantes presentes de forma natural y la presencia de factores favorables para la oxidación (Morrissey *et al.*, 1998). La oxidación lipídica es proporcional a la insaturación de ácidos grasos, de lo anterior depende el color, sabor, estabilidad oxidativa y por su puesto la calidad de los productos cárnicos (Hallenstvedt *et al.*, 2012).

2.7 Encapsulación

La encapsulación es una herramienta tecnológica que permite atrapar y proteger componentes sensibles a factores externos en una matriz homogénea o heterogénea (García Ceja & López Malo, 2012; Nazzaro *et al.*, 2012). En el proceso antes mencionado se da la formación de delgadas películas o membranas semipermeables con una variedad de materiales entre los cuales encontramos a los biopolímeros como las proteínas o los almidones. El diseño y desarrollo exitoso de este tipo de sistemas depende de varios factores entre los cuales se encuentran la naturaleza y estabilidad del material que se desea encapsular, las características del material que se usará (matriz), el método de obtención de las capsulas y la matriz alimenticia a la cual se desea incorporar (Yu *et al.*, 2010; García Ceja & López Malo, 2012). La encapsulación ofrece numerosos beneficios a los consumidores. Debido a que aporta valor agregado al producto, una mayor estabilidad entre los diferentes

componentes, de igual forma protege al componente activo contra diferentes factores como lo son humedad, temperatura, pH, permeabilidad y reactividad, así como otros factores que puedan deteriorar dicho ingrediente activo (Y. Wang, Dave, & Pfeffer, 2004). Esta tecnología ayuda a mantener los componentes que se desea proteger para resistir condiciones de procesamiento, empaçado y almacenamiento, en algunos casos el alimento no sufre cambios en sus propiedades por la inclusión del encapsulado (Parra Huertas, 2010; Sohail *et al.*, 2011), en el almacenamiento la encapsulación puede aportar un beneficio más, la liberación de forma controlada por diferentes mecanismos como lo son difusión, disolución, disociación y/o fracturación del compuesto de interés (Desai & Jin Park, 2005). Lo cual es importante cuando los agentes activos deben ser liberados en un tiempo apropiado o bajo ciertas condiciones.

2.8 Emulsiones

Una emulsión es una dispersión termodinámicamente inestable de dos o más líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles. Los diámetros de las gotas líquidas que se encuentran dispersas oscilan en el rango de 0.1 y 20 μm . A pesar de tratarse de sistemas termodinámicamente inestables, estas pueden convertirse en cinéticamente estables gracias a la presencia de agentes tensoactivos que presentan la capacidad de adsorción en la superficie de las gotas. En la mayoría de estos sistemas una de las fases es acuosa y la otra un aceite polar. Los sistemas con aceite como fase dispersa se denominan aceite-en-agua y los que contienen agua como fase dispersa se conocen como agua-en-aceite. El tipo de sistema disperso que tiende a formarse depende del balance entre las propiedades hidrófilas e hidrófobas del emulgente utilizado. Para lo anterior generalmente se suele cumplir la regla de Bancroft: la fase continua es aquella que solubiliza al agente emulgente (Aranberri *et al.*, 2006).

Las emulsiones convencionales suelen ser susceptibles a ciertos mecanismos de inestabilidad, los cuales se describen a continuación:

- 1) **“Creamig” /sedimentación:** se trata de un proceso causado por la acción de la gravedad y produce un gradiente vertical de concentración de las gotas sin variar la distribución del tamaño de las mismas. Para las emulsiones O/W, las gotas de aceite son menos densas que la fase continua acuosa y, por lo tanto, principalmente ocurre el “creaming”.
- 2) **Floculación:** es la adhesión de las gotas sin fusionarse y no existe variación en la distribución del tamaño de gota.
- 3) **Coalescencia:** es la fusión de gotas para crear gotas más grandes con la eliminación de parte de la interfase líquido/líquido. Este cambio es irreversible, se requerirá de un aporte extra de energía para reestablecer la distribución de tamaño de partícula original.
- 4) **Engrosamiento de gota (maduración de “Ostwald”:** se debe al crecimiento de gotas más grandes a costa de las más pequeñas, hasta que estas últimas casi desaparecen.

Fuente: Aranberri *et al.* (2006).

2.8.1 Propiedades de diferentes tipos de emulsiones

Distintos términos se han usado para describir a los diferentes tipos de emulsiones, a continuación, se presenta una clasificación general y características de las emulsiones:

- 1) **Macroemulsiones:** También conocidas como emulsiones convencionales generalmente presentan tamaños medios de gota que van de entre 100 nm y 100 μ m. Este tipo de sistemas son termodinámicamente inestables y tienden a ser ópticamente turbias u opacas, esto debido a que el tamaño de sus gotas es similar a la longitud de onda de la luz y la dispersan fuertemente.
- 2) **Nanoemulsiones:** Estas también pueden ser consideradas como emulsiones convencionales que contienen gotas muy pequeñas, con medias de diámetro que van desde 20-100 nm. Debido al pequeño tamaño de gota respecto a la longitud de onda de la luz, estos sistemas tienden a ser

transparentes o ligeramente turbios. Gracias a esta característica sus gotas tienen mejor estabilidad a la separación gravitacional y a la agregación que las emulsiones convencionales. Sin embargo, estos siguen siendo sistemas termodinámicamente inestables debido a que el separado de las fases aceite y agua tienen una energía libre menor que en emulsión (como en las emulsiones convencionales).

- 3) Microemulsiones:** Estos sistemas son termodinámicamente estables (se forman espontáneamente dando tiempo suficiente) típicamente contienen tamaños de gota medios que van desde 5-50 nm. Debido a lo anterior las microemulsiones son transparentes, al ser su tamaño de gota mucho menor al de la longitud de onda de la luz, por lo que la dispersión de esta es débil.

Clasificación extraída de McClements (2010).

Tabla 2. Propiedades de diferentes tipos de emulsiones.

Tipo de emulsión	Diámetro	Estabilidad térmica	Masa-superficie m²/g	Apariencia
Macroemulsión	0.1-100 μm	Inestable	0.07-70	Turbia/opaca
Nanoemulsión	20-100 nm	Inestable	70-330	Transparente
Microemulsión	5-50 nm	Estable	130-1300	Transparente

Fuente: (McClements, 2010).

2.9 Emulsiones dobles

Las emulsiones dobles o múltiples son estructuralmente versiones más complejas de emulsiones y/o nanoemulsiones, se pueden considerar emulsiones emulsionadas (McClements, 2010). Se define a estas como una emulsión dentro de otra emulsión, con las gotas de una fase dispersa que a su vez contiene gotas dispersas más pequeñas (Garti & Aserin, 1996; Garti & Bisperink, 1998). Para fines prácticos a partir de aquí nos referiremos a estos sistemas como emulsiones dobles (ED).

MARCO TEÓRICO

Existen dos principales categorías de este tipo de sistemas. La formulación más comúnmente estudiada sobre la cual nos enfocaremos en el presente trabajo, es la del tipo agua-aceite-agua W/O/W (por sus siglas en inglés), y consiste en una fase continua de agua que contiene gotas de aceite con gotas de agua más pequeñas dispersas en ella. La otra estructura es la de tipo aceite-agua-aceite (O/W/O) descrita como una fase continua de aceite con gotas de agua que a su vez contiene gotas de aceite más pequeñas dentro. Enfocándonos en las primeras (W/O/W), debido a que la fase acuosa externa e interna de la emulsión doble típicamente difieren en la composición, es conveniente representarlas de forma abreviada como $W_1/O/W_2$ para poder distinguir entre las dos fases (similarmemente para las 2 fases lipídicas O_1 y O_2 en el sistema $O_1/W/O_2$) (Muschiolik & Dickinson, 2017).

Las emulsiones dobles del tipo agua-aceite-agua son normalmente producidas mediante 2 fases: 1) se elabora una emulsión primaria (W/O) la cual se produce por la homogenización de agua en aceite y un emulgente lipófilo, 2) la emulsión W/O/W es entonces producida por la homogenización de la emulsión primaria (W/O) con una solución acuosa soluble, que contiene emulgente hidrófilo (Benichou, Aserin, & Garti, 2004; McClements, 2010).

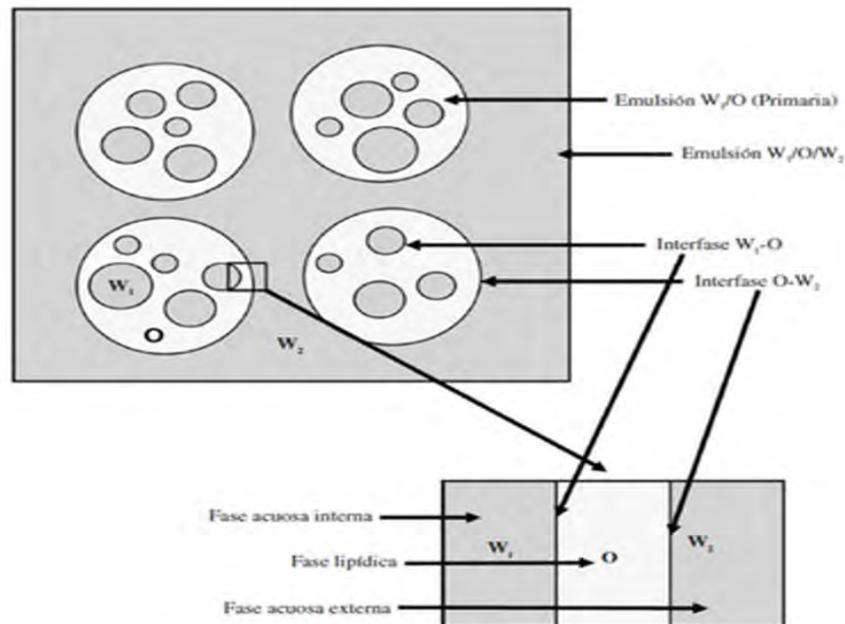


Figura 4. Representación de la estructura agua-aceite-agua de una emulsión doble (Jiménez-Colmenero, 2013a).

2.9.1 Ventajas de las emulsiones dobles sobre las emulsiones convencionales en su aplicación en alimentos

Debido a sus características estructurales las emulsiones dobles presentan ciertas ventajas sobre sistemas emulsionados convencionales:

- a) Encapsulación, protección y liberación: Ingredientes funcionales solubles en agua (minerales, vitaminas, sabores, enzimas, péptidos bioactivos, polisacáridos) pueden ser atrapados dentro de la fase acuosa interna. Algunos ejemplos pueden ser: 1) encapsulado de ingredientes funcionales y liberados de forma controlada o en respuesta específica a ciertos cambios en el entorno (boca, estomago, intestino delgado), 2) los ingredientes atrapados pueden ser protegidos de degradación química aislándolos de otros ingredientes solubles en agua que pudieran reaccionar con ellos, 3) ingredientes funcionales hidrosolubles que tienen sabores desagradables (astringentes, sabores metálicos etc.) al ser encapsulados no se perciben los sabores negativos en el masticado.
- b) Productos reducidos en grasa: En general el contenido de grasa de los productos alimenticios que existen como emulsiones aceite en agua (O/W) (aderezos, salsas, postres) puede ser reducido con gotas de agua. Una emulsión doble (W/O/W) puede ser producida teniendo un mismo volumen de fase dispersa general y distribución de tamaño de gota que una emulsión convencional O/W, pero con un menor contenido de grasa. Por consecuencia se podrían producir alimentos bajos en contenido graso con propiedades fisicoquímicas y sensoriales similares a productos con un contenido de grasa normal, así como apariencia, textura, sensación en boca y sabor.

Fuente: (McClements *et al.*, 2009).

2.9.2 Mecanismos de inestabilidad en emulsiones dobles

Las emulsiones dobles o múltiples son propensas a muchos de los mismos mecanismos de inestabilidad que las emulsiones convencionales. Sin embargo, existen mecanismos de inestabilidad adicionales asociados con la presencia de la fase acuosa interna. Las gotas de aceite en las emulsiones dobles del tipo W/O/W (agua-aceite-agua) son susceptibles al cremado, floculación, coalescencia y la

maduración de Ostwald, tal como las emulsiones convencionales O/W (aceite-agua). Las gotas de agua internas en las emulsiones dobles son susceptibles a la floculación, coalescencia, y el proceso de maduración de Ostwald. Sin embargo, ellas también pueden volverse inestables como resultado de la difusión de las moléculas de agua entre la fase acuosa interna y externa o debido a la expulsión de gotas enteras de agua, de las gotas de aceite (McClements, 2010).

2.9.3 Aplicación de las emulsiones dobles en alimentos

Las emulsiones dobles pueden ofrecer algunas ventajas en su aplicación en alimentos, desde que han sido una potencial y útil estrategia para producir alimentos bajos en calorías y contenido graso, así como para enmascaramiento de sabores, prevención de la oxidación, mejora de las características sensoriales, y la protección y liberación controlada de compuestos lábiles durante la alimentación y digestión. Sin embargo, para su aplicación en alimentos las propiedades de estos sistemas de liberación como la estabilidad física, deben ser consideradas en 2 diferentes niveles: la estabilidad requerida como un ingrediente alimentario intermediario y la estabilidad cuando se incorpora a una matriz alimentaria. Como ingrediente alimentario, la estabilidad requerida varía de acuerdo al tipo de alimento (sólido, líquido, productos lácteos, productos cárnicos, etc.) y las condiciones de procesamiento en cada caso, además del factor estabilidad, la emulsión doble a incorporar debe ser compatible con las propiedades específicas (sabor, textura, apariencia etc.) de la matriz alimentaria en la que se incluye (Jiménez-Colmenero, 2013b). En cuanto a la encapsulación, los compuestos bioactivos pueden ser potencialmente localizados en diferentes ambientes moleculares y físicos dentro de una emulsión doble $W_1/O/W_2$. Los componentes hidrófilos pueden ser incorporados en la fase acuosa interna W_1 dispersándolos en esta antes de la primera homogenización o en la fase acuosa externa dispersándolos en W_2 antes o después del segundo paso de homogenización. Los componentes lipófilos pueden ser incorporados en las gotas de aceite dispersándolos antes o después de la primera homogenización. Los componentes de superficie activa podrían ser ubicados en las interfaces $W_1/O/W_2$ (McClements *et al.*, 2007).

2.10 Compuestos bioactivos

La fundación para innovación en la medicina definió a los compuestos bioactivos en 1991 como: “cualquier sustancia que pueda ser considerada como un alimento o parte de uno que provea beneficios médicos o a la salud, incluyendo la prevención y tratamiento de enfermedades”. La mayoría de estos son compuestos de origen natural y se pueden extraer de plantas o fuentes animales que agregan valor a los productos a partir de los cuales ellos han sido derivados. Existen algunos prerequisites para la acción fisiológica de estos compuestos, los cuales son: a) cantidad suficiente presente en el alimento, b) que los compuestos presentes deben permanecer física y químicamente estables a través de la producción, almacenaje y consumo, c) tras el consumo pasar por el tracto digestivo humano en una forma física que le permita a los compuestos ser óptimamente absorbidos en el tracto intestinal, idealmente, la biodisponibilidad que es la fracción de compuestos bioactivos suministrados que alcanza el sistema circulatorio, siendo lo más alta posible. Sin embargo, la biodisponibilidad de ciertos compuestos bioactivos es muy baja debido a que son compuestos con baja estabilidad en el procesamiento o estos pueden interactuar física y químicamente con otros compuestos. En este aspecto los productos cárnicos son matrices alimentarias muy complejas con un alto contenido de proteína, lípidos y minerales que pueden presentar una multitud de interacciones generando distintos problemas que pueden reducir la aceptación de los productos funcionales cárnicos (Weiss *et al.*, 2010). Por todas las propiedades descritas anteriormente, las emulsiones dobles o múltiples, surgen como una potencial herramienta para la incorporación, protección y liberación controlada de compuestos de interés en productos alimenticios.

2.10.1 Compuestos Fenólicos

Los compuestos fenólicos constituyen un enorme grupo de fenil-propanoides producidos por las plantas como metabolitos secundarios. Estos compuestos están involucrados en diferentes funciones en la ecología, fisiología y bioquímica de las plantas, como la defensa química contra depredadores, la reproducción, entre otras funciones. La principal característica química de estos compuestos es que poseen un anillo aromático y muchos grupos hidroxilo unidos a él. Estos pueden ser

MARCO TEÓRICO

agrupados en función de los anillos fenólicos que poseen, así como al tipo de radical al que estos se unen (Gutiérrez-Grijalva *et al.*, 2016).

Los principales grupos de polifenoles son: ácidos fenólicos (derivados del ácido hidroxibenzoico o del ácido hidroxicinámico), estilbenos, lignanos, alcoholes fenólicos y flavonoides. La biosíntesis de los polifenoles como productos del metabolismo secundario de las plantas tiene su lugar a través de 2 importantes vías primarias: la ruta del ácido siquímico y la ruta de los poliacetatos. La ruta del ácido siquímico proporciona la síntesis de los aminoácidos aromáticos (fenilalanina o tirosina), y la síntesis de los ácidos cinámicos y sus derivados (fenoles sencillos, ácidos fenólicos, cumarinas, lignanos y derivados del fenilpropano). La ruta de los poliacetatos proporciona las quinonas y las xantonas. Tras diversas modificaciones, se obtiene el ácido siquímico, del que derivan directamente algunos fenoles. La vía del ácido siquímico puede continuar con la adhesión de una segunda molécula de fosfoenolpiruvato, dando lugar a la fenilalanina, un aminoácido esencial propio del metabolismo primario de las plantas. La fenilalanina entra a formar parte del metabolismo secundario por acción de la enzima fenilalanina amonioliasa, que cataliza la eliminación de un grupo amonio, transformando la fenilalanina en el ácido trans-cinámico. Posteriormente, el ácido trans-cinámico se transforma en ácido *p*-cumárico por incorporación de un grupo hidroxilo a nivel del anillo aromático. La acción de una coenzima A (CoA), la CoA-ligasa, transforma el ácido *p*-cumárico en *p*-cumaroilCoA, que es el precursor activo de la mayoría de los fenoles de origen vegetal. La ruta de los poliacetatos comienza a partir de una molécula inicial de acetilCoA, y a través de una serie de condensaciones se originan los poliacetatos. Por reducción de los poliacetatos se originan los ácidos grasos, y por ciclación posterior se forma una gran variedad de compuestos aromáticos como las quinonas y otros metabolitos que se generan a través de rutas mixtas. Las rutas mixtas combinan precursores tanto de la vía del ácido siquímico como de la ruta de los poliacetatos. Este es el caso de un importante grupo de moléculas biológicamente activas, denominadas genéricamente flavonoides (Quiñones *et al.*, 2012).

En recientes años los compuestos fenólicos han sido de interés para la ciencia y la industria alimentaria por sus efectos beneficiosos a la salud, especialmente por sus propiedades antioxidantes. Adicionalmente, a estos compuestos se les ha atribuido parcialmente propiedades antiinflamatorias (Ambriz-Pérez *et al.*, 2016). Los compuestos fenólicos como antioxidantes naturales poseen una alta actividad donadora de H, así como una alta capacidad de inhibición de radicales. Los principales compuestos fenólicos antioxidantes son: ácidos fenólicos, diterpenos fenólicos, flavonoides y aceites volátiles. Algunos compuestos fenólicos previenen la formación de radicales libres y su propagación, mientras que otros los eliminan y poseen actividad quelante (metales de transición). Los ácidos fenólicos atrapan radicales libres; mientras que los flavonoides inhiben radicales libres y de igual forma tienen actividad quelante contra metales (Fe^{2+} , Fe^{3+} y Cu^{2+}). El potencial antioxidante de estos compuestos naturales depende de la estructura de su esqueleto y el patrón de grupos funcionales en este, por ejemplo, el número y ubicación de los grupos hidroxilo libres (-OH) en el esqueleto de los flavonoides decide el potencial de eliminación de radicales. La presencia de múltiples grupos -OH y las estructuras orto-3,4-hidroxi aumentan el potencial antioxidante de fenoles de origen vegetal, por lo tanto, las estructuras poliméricas con más grupos -OH poseen un mayor potencial antioxidante (Yogesh Kumar *et al.*, 2015).

El consumo de estos compuestos se ha relacionado con la disminución en la incidencia de enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas, ciertos cánceres, diabetes tipo II y osteoporosis. Estos compuestos se encuentran en mayor cantidad en plantas y frutos que en alimentos procesados, principalmente porque se sabe que algunos procedimientos que incluyen el cocinado, fermentación, almacenaje y pasteurización disminuyen su contenido o modifican su estructura (Velderrain-Rodriguez *et al.*, 2014).

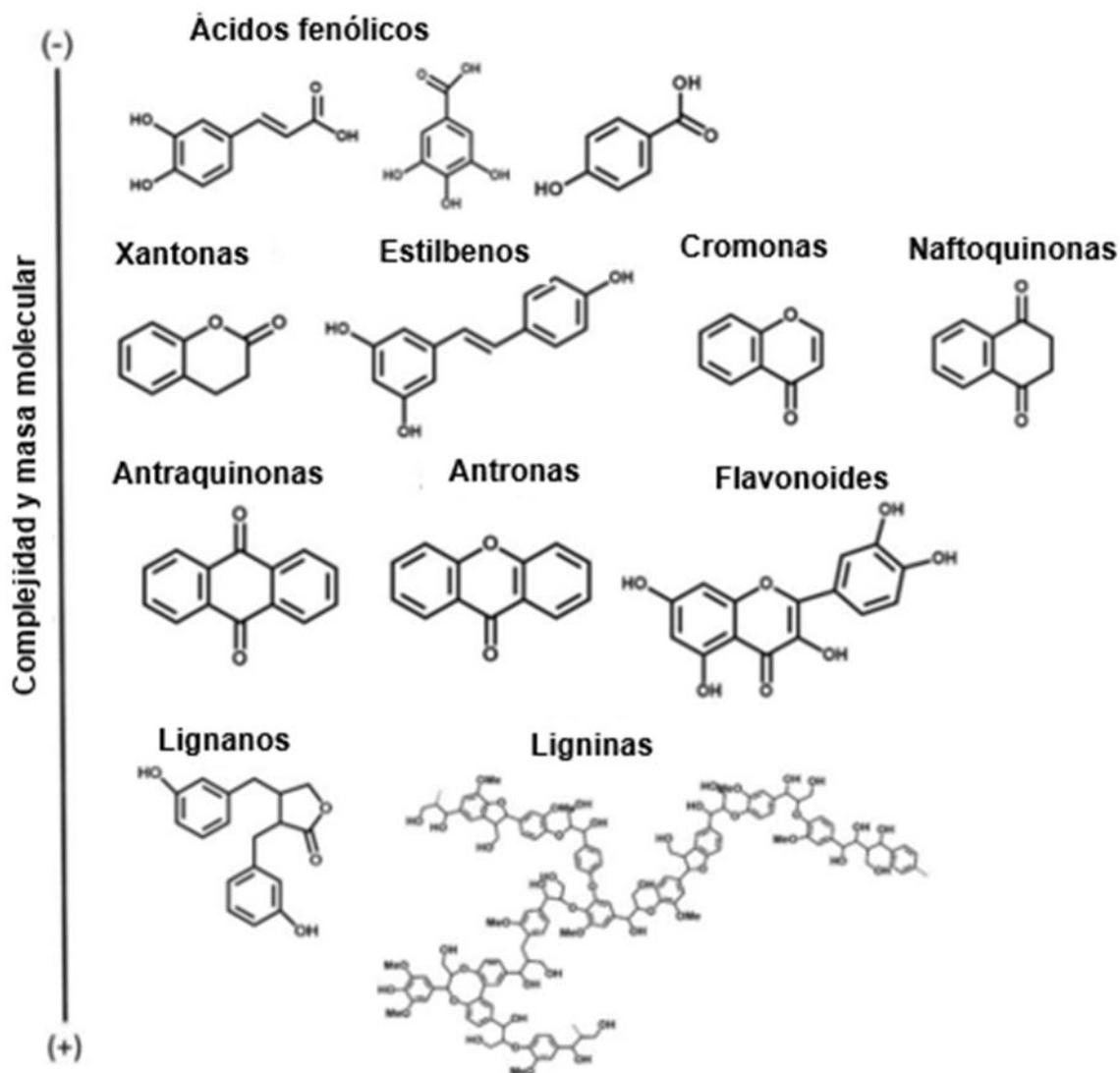


Figura 5. Compuestos fenólicos más comunes encontrados en fuentes vegetales. Acomodo de acuerdo a su complejidad y masa molecular (Velderrain-Rodríguez *et al.*, 2014).

2.11 Xoconostle

La pera de nopal o cactus es endémica de América. La mayoría de las especies *Opuntia* producen frutos con abundante pulpa y sabor dulce, mientras que una minoría produce frutos con sabor ácido conocidos como xoconostle, existen alrededor de 15 especies reconocidas de xoconostle, pero se han encontrado otras especies que producen xoconostle y podrían ser 20 o más, todas endémicas de

México (Hernández Fuentes *et al.*, 2015). El término xoconostle se deriva de los vocablos náhuatl Xoco, que significa ácido, y Tochtlí, que significa tuna. Este es un fruto ampliamente consumido en nuestro país, en la región norte centro de México existen áreas importantes donde se colecta y consume xoconostle de plantas silvestres y de traspatio, pero en la última década en los estados de México, Puebla, Hidalgo, Aguascalientes y Guanajuato se está empezando a producir en pequeñas huertas especializadas, o como cultivo complementario en huertas de nopal tunero y de verdura, por el creciente interés de la industria en el fruto. El xoconostle se desarrolla principalmente en zonas áridas, y semiáridas, y demanda cantidades muy bajas de agua. Esta planta juega un papel social relevante dado que la comercialización del fruto fresco e industrializado es el medio de subsistencia de un sector importante de la población en las zonas donde crece (Guzmán *et al.*, 2009). Existen diferentes especies y variedades de este fruto. Se conforma principalmente de 3 partes: el pericarpio (cascara fina del fruto), mesocarpio (piel del xoconostle) y el endocarpio (pulpa y semillas) generalmente el primero y el último se desechan para su consumo (Reyes-Agüero *et al.*, 2006). El fruto de xoconostle es una rica fuente de antioxidantes como los ácidos fenólicos y betacianinas, sus propiedades beneficiosas son debidas a su actividad antioxidante relacionada principalmente con la composición y concentración de dichos compuestos fenólicos, se ha reportado que en el pericarpio se encuentran principalmente la mayoría de sus compuestos fenólicos, así como las betacianinas se encuentran en mayor cantidad en el endocarpio, partes del fruto comúnmente desechadas (Osorio-Esquivel *et al.*, 2011). Otros trabajos como lo reportado por Morales *et al.* (2012) reportaron la presencia de compuestos como los flavonoides entre otros de importancia biológica.

El consumo de xoconostle debido a su contenido de polifenoles, puede ayudar a mejorar la salud del consumidor, de igual forma puede ayudar a la prevención de enfermedades crónicas y otros problemas de la salud humana como diabetes, obesidad y males respiratorios (Pérez-Alonso *et al.*, 2015) . A pesar de los aspectos beneficiosos que pueden derivarse del consumo de xoconostle por la presencia de sus compuestos bioactivos, este fruto es altamente perecedero, así como dichos compuestos son inestables a ciertos factores como pH, actividad de agua, oxígeno,

exposición a la luz, actividad enzimática y temperatura entre otros factores (Castellar *et al.*, 2003; Herbach *et al.*, 2004; Tesoriere *et al.*, 2005) limitando su uso en la industria alimentaria y privando al consumidor de una rica fuente de compuestos antioxidantes de origen natural.

2.12 Materiales para la elaboración de la emulsión doble

2.12.1. Emulgente de la fase acuosa externa: aislado proteico de suero de leche

Las proteínas son la clase más comúnmente utilizada como agentes espumantes y emulgentes que se usan en la industria alimentaria. Son naturales, no tóxicas y disponibles a bajo costo. Estas estabilizan emulsiones formando una capa viscoelástica adsorbida, gracias a sus propiedades mecánicas las cuales se cree que influyen en la estabilidad de emulsiones y espumas. Las proteínas presentan una morfología estructural compleja. Se sabe que la capacidad de adsorción de las proteínas está influenciada por la hidrofobicidad de la superficie y carga. Una vez adsorbidas, se desarrollan y reorganizan su estructura secundaria y terciaria para exponer los residuos hidrófobos a la fase hidrófoba. La alta concentración de proteína en la superficie conduce a la agregación y a la formación de interacciones. Por lo tanto, las propiedades mecánicas de la capa adsorbida, dependen de la estructura de la proteína, y la fuerza de las interacciones entre ellas, que a su vez pueden influir en la estabilidad de las emulsiones formadas a partir de proteínas con diferentes estructuras secundarias (Wilde *et al.*, 2004).

Existen distintos tipos de proteínas que se usan como agentes encapsulantes protectores, como son las lácteas y las de origen vegetal (Burgain *et al.*, 2011). Las proteínas lácteas son vehículos naturales debido a sus propiedades estructurales y fisicoquímicas y se usan en una gran diversidad de productos (Tharanathan, 2003). Las proteínas de suero de leche forman películas transparentes, insípidas y flexibles con una buena resistencia a la transferencia de oxígeno, aromas y lípidos (García Ceja & López Malo, 2012). Respecto de las ED, las proteínas son muy buenos agentes estabilizadores de la segunda emulsión, tal como lo son para las emulsiones simples. Una ventaja adicional, es que estas son insolubles en aceite,

por lo cual no tienden a migrar a la interface interna aceite-agua, o interferir con la estabilidad de la fase acuosa interna. Por tal razón para la estabilización de las gotas externas en las emulsiones dobles, se han estudiado diferentes proteínas incluyendo caseinato de sodio, gelatina, albumina de suero bovino y aislado de proteína de suero de leche (Kosegarten Conde & Jiménez Munguía, 2012).

2.12.2 Fase lipídica: aceite de canola

El aceite de canola se ha relacionado con múltiples beneficios a la salud por su consumo, respaldado en múltiples estudios que han analizado los efectos de su ingesta, las propiedades atribuidas al consumo de este aceite están vinculadas con su composición: bajos niveles de ácidos grasos saturados (7%), sustanciales cantidades de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, incluyendo 61% ácido oleico, 21% ácido linoleico y 11% ácido alfa-linoleico, esteroides vegetales (0.53-0.97%), y tocoferoles (700-1200 ppm), todos de los cuales estudios indican que poseen propiedades cardioprotectoras (Lin *et al.*, 2013). El empleo de una fuente lipídica vegetal en sistemas como las emulsiones dobles, además de las variaciones en las tecnologías de composición y preparación, resultan en la formación de una gama de emulsiones con nuevas propiedades con gran potencial en la liberación de compuestos bioactivos u otros nutrientes como los ácidos grasos insaturados de la fase oleosa, con lo cual se puede lograr la entrega de múltiples nutrientes al mismo tiempo (Lu, Kelly, & Miao, 2016).

2.12.3 Emulgentes para la emulsión primaria

2.12.3.1 Grindsted PGPR 90 Kosher (poliglicerol polirricinoleato)

El poliglicerol polirricinoleato, PGPR es identificado con el código E-476, es elaborado de glicerol polimerizado y ácido ricinoleico polimerizado. El PGPR es ampliamente conocido como un excelente emulgente de agua en aceite en la industria alimentaria, debido a que su forma es muy estable aun cuando el contenido de agua es muy alto. Por lo tanto, dicho emulgente es ampliamente usado en la industria panadera, o en la elaboración de productos para untar bajos en grasas, sin embargo, la principal aplicación de PGPR es en la industria del chocolate (Bastida-Rodríguez, 2013) . PGPR se puede usar solo o mezclado con monoglicéridos para obtener una buena relación calidad/costo. La gran capacidad emulsionante de este

aditivo es atribuida a la excelente capacidad de retención de agua a lo largo de la cadena hidrófila del poliglicerol (Márquez *et al.*, 2010).

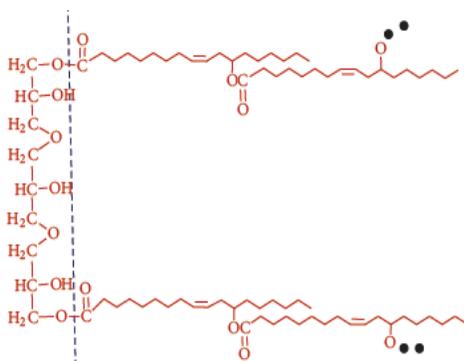


Figura 6. Estructura química del PGPR, los puntos negros denotan cadenas de ácido polirricinoleico (Bastida Rodríguez, 2013).



Figura 7. Estructura química del ácido ricinoleico (Bastida-Rodríguez, 2013).

2.11.3.2 Panodan SD/P K DATEM

Ésteres de ácido mono y diacetil tartárico de mono y diglicéridos de ácidos grasos, el numero asignado para el aditivo DATEM es E472e. DATEM son derivados de glicerol esterificados con ácidos grasos comestibles y ácido mono y diacetil tartárico. DATEM son emulgentes iónicos, aceite en agua. Durante la reacción de los mono y diglicéridos con el ácido tartárico diacetilado anhídrido, los grupos hidroxilo libres de los mono y diglicéridos, los cuales son responsables de sus propiedades hidrófilas, son esterificados. Al mismo tiempo, una gran polar e hidrófila fracción con un grupo carboxilo libre es transferida a la molécula a través del ácido tartárico diacetilado esterificado. Debido a la parcial esterificación de los grupos hidroxilo de los mono y diglicéridos con el ácido tartárico diacetilado anhídrido, grupos hidroxilo libres, junto con la fracción de ácido tartárico diacetilado, forman la parte hidrófila en las moléculas de DATEM. DATEM son más hidrófilos en comparación a los mono y diglicéridos de los que ellos provienen. La parte hidrófila dentro de estas moléculas es mayor y por lo tanto exhiben un alto balance hidrófilo-lipófilo (Whitehurst, 2004).

MARCO TEÓRICO

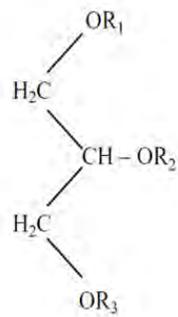


Figura 8. Estructura molecular de DATEM, donde R₁, R₂ y R₃ (o dos de ellos) son restos de ácidos grasos, el resto puede ser: a) fracción de ácido tartárico diacetilado, b) fracción de ácido tartárico monoacetilado, c) fracción de ácido tartárico, d) fracción de ácido acético, e) hidrógeno (Whitehurst, 2004).

3 Antecedentes

Existen en la literatura algunos trabajos reportados en el uso de emulsiones dobles en productos cárnicos, aunque en su mayoría, no principalmente con la intención de enriquecer a estos con compuestos bioactivos encapsulados, los trabajos reportados han sido principalmente enfocados en la parte estructural y de composición obteniendo productos con menor contenido calórico mediante la sustitución de la grasa animal.

Cofrades *et al.* (2013) realizaron la incorporación de 2 formulaciones de ED a productos cárnicos emulsionados sustituyendo la grasa animal en un contenido normal y reducido en los productos cárnicos, las emulsiones se formularon con PGPR como emulgente lipófilo, aceite de oliva como fase lipídica, así como caseinato de sodio y concentrado proteico de suero de leche como emulgente hidrófilo, con el fin de conocer el efecto en el contenido lipídico cualitativa y cuantitativamente. Los resultados obtenidos fueron positivos, los productos reformulados mostraron una estabilidad adecuada para este tipo de productos, los cambios se vieron reflejados en aspectos como la capacidad de retención de agua y grasa, las cuales fueron buenas independientemente de la formulación. Respecto a la composición, los principales cambios se notaron en los productos cárnicos reducidos en grasa donde esta se sustituyó por el incremento en el contenido de humedad, tanto por el agua contenida en la emulsión, así como por el agua añadida. Los efectos en la textura dependieron de la formulación. En general se concluyó que con la incorporación de estas tecnologías en productos cárnicos se puede mejorar la calidad fisicoquímica, estructural y de composición en estos productos.

Posteriormente Cofrades *et al.* (2014) encapsularon un efectivo antioxidante como el hydroxytyrosol en una emulsión doble a base de PGPR como emulgente lipófilo, aceite de chía como fase lipídica y caseinato de sodio como emulgente hidrófilo de la fase acuosa externa. El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad del hydroxytyrosol para inhibir la oxidación en las emulsiones y evaluar la capacidad antioxidante de este mismo en los productos cárnicos, así como su efecto en la estabilidad oxidativa, incorporándolo en los productos cárnicos en diferentes

ANTECEDENTES

modalidades (de forma directa y encapsulado en la ED). Respecto a la emulsión con hydroxytyrosol la capacidad antioxidante fue muy alta los primeros días de almacenaje, los resultados de oxidación fueron favorables al encontrar menores contenidos del compuesto MAD en el tratamiento con hydroxytyrosol que en el tratamiento control. Respecto a los productos cárnicos la capacidad antioxidante en el tratamiento con hydroxytyrosol encapsulado en ED mostró valores altos los primeros días de almacenaje, sin embargo, no pudo establecerse una relación clara con la estabilidad oxidativa de este mismo producto cárnico.

Freire *et al.* (2016) realizaron la sustitución de la grasa animal en salchichas tipo Frankfurt por ED, la formulación de las ED consistió principalmente en PGPR como emulgente lipófilo, aceite de perilla o grasa animal como fase lipídica, así como caseinato de sodio como emulgente hidrófilo en la fase acuosa externa. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto en las propiedades de las salchichas Frankfurt (retención de agua y grasa, textura, color y análisis sensorial) por el reemplazamiento de la grasa animal por la emulsión doble ($W_1/O/W_2$). Los productos cárnicos reformulados con ED mostraron aumentos en el contenido de humedad, así como una reducción en el contenido de grasa respecto al tratamiento control, posteriormente la pérdida de agua fue mayor en los tratamientos reformulados con ED, caso contrario en la pérdida de grasa, respecto a la textura los principales cambios se exhibieron en la dureza y masticabilidad donde los productos reformulados con ED mostraron menores valores. En cuanto a la estabilidad oxidativa el tratamiento control fue quien mostró los menores valores de MAD, además de esto, el perfil lipídico también se vio afectado según la fuente lipídica incorporada. En general se concluyó que es factible la incorporación de ED a productos cárnicos como las salchichas Frankfurt para hacerlas más saludables, sin embargo, tecnológica y sensorialmente estos sistemas no aportaron tantos beneficios.

Serdaroglu *et al.* (2016) realizaron la sustitución de la grasa animal en productos cárnicos emulsionados por una formulación de ED en diferentes porcentajes (10, 20 y 30%), la formulación de ED consistió principalmente de PGPR como emulgente

ANTECEDENTES

lipófilo, aceite de oliva como fase lipídica y caseinato de sodio como emulgente hidrófilo de la fase acuosa externa. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto en las propiedades fisicoquímicas de los productos cárnicos reformulados, así como la generación de productos cárnicos con bajos contenidos de grasa y un mejor perfil lipídico. Los principales efectos en los productos cárnicos reformulados con ED en diferentes porcentajes se vieron reflejados en la composición de los productos, estos, además de menores contenidos de grasa (similar a lo descrito en los trabajos anteriores) mostraron un notable aumento en el contenido de proteína, ambos cambios fueron proporcionales al contenido de ED en las formulaciones. Otro aspecto positivo fue el mejoramiento del perfil lipídico en los productos. Finalmente, los productos cárnicos con ED fueron más estables a la oxidación que el tratamiento control durante el periodo de almacenaje.

Finalmente, Eisinaite *et al.* (2017) encapsularon jugo de betabel en una emulsión doble de igual forma para sustituir la grasa animal en productos cárnicos emulsionados, la emulsión doble estuvo conformada principalmente de PGPR como emulgente lipófilo, aceite de girasol como fase lipídica y aislado proteico de suero de leche como emulgente hidrófilo en la fase acuosa externa. El objetivo de este trabajo fue además de reducir el contenido de grasa, mejorar el color de los productos cárnicos donde se incorporó el jugo de betabel encapsulado. En general los resultados de la sustitución de la grasa animal por estas formulaciones de ED fueron buenos, se concluyó que además de reducir el contenido calórico y de grasa en los productos cárnicos, se pueden mantener las propiedades de color por la incorporación de un colorante en la fase acuosa interna de una ED.

4 Justificación

En los últimos años se están produciendo importantes cambios en los hábitos de consumo impulsados por la continua aparición de evidencia científica que acredita como a través de la dieta y/o sus componentes se pueden modular ciertas funciones fisiológicas en el organismo y por tanto favorecer el bienestar y la salud. Por otra parte, se sabe que ciertas enfermedades crónicas no transmisibles están relacionadas en mayor o menor grado con la alimentación. En tal situación los consumidores demandan alimentos que además de los aportes nutricionales, contribuyan con beneficios extra a la salud. La carne y los productos cárnicos a pesar de ser alimentos muy completos y con múltiples aportes beneficiosos a la salud, de igual forma poseen componentes que en cantidades excesivas o ciertas circunstancias pueden tener efectos negativos en la salud (ácidos grasos saturados, altos contenidos de grasa y calóricos, sodio etc.), sin embargo, las altas demandas de estos productos, la gran variedad y la aptitud de estos para ser reformulados los convierte en excelentes vehículos para incorporar compuestos bioactivos a la dieta de los consumidores sin modificar sus hábitos alimenticios. El xoconostle es un fruto rico en compuestos fenólicos, dichos compuestos están recibiendo una enorme atención de la ciencia y la industria alimentaria debido a que su consumo está relacionado con la disminución en la incidencia de ciertas enfermedades crónicas no transmisibles, sin embargo, tanto el xoconostle es altamente perecedero, así como sus compuestos bioactivos son sensibles a ciertos factores ambientales, limitando su uso en la industria alimentaria y privando a los consumidores de una fuente natural rica en compuestos antioxidantes. La encapsulación es una tecnología que permite atrapar componentes sensibles para su protección, en este contexto las emulsiones dobles surgen como una herramienta para la encapsulación, protección y liberación controlada de compuestos lábiles, además de que debido a sus características posee la cualidad para sustituir o reducir el contenido de grasa en los alimentos.

El presente trabajo busca aprovechar las múltiples propiedades de las emulsiones dobles, para incorporar a productos cárnicos emulsionados compuestos bioactivos con propiedades funcionales que además de enriquecer, puedan influir en la

JUSTIFICACIÓN

estabilidad de los productos, así como en su composición por medio de la sustitución de la grasa animal en la formulación de estos.

5 Objetivos

5.1 Objetivo general

Incorporar una emulsión doble del tipo agua-aceite-agua ($W_1/O/W_2$) que contenga compuestos bioactivos de xoconostle encapsulados, en la formulación de productos cárnicos emulsionados, sustituyendo la grasa animal para obtener la base de un producto cárnico funcional y preservar el producto.

5.2 Objetivos específicos

- 1- Caracterizar funcionalmente el filtrado de xoconostle por la determinación del contenido de fenoles totales y flavonoides, así como su capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH.
- 2- Determinar una formulación adecuada de emulsión doble que contenga compuestos bioactivos de xoconostle encapsulados, para sustituir la grasa animal en los productos cárnicos. Lo anterior por medio de la determinación de pH de las emulsiones, estabilidad física y medida del diámetro de gota de emulsión respecto al tiempo.
- 3- Evaluar y monitorear las propiedades funcionales de la emulsión doble con compuestos bioactivos de xoconostle encapsulados, por la determinación del contenido de fenoles totales y flavonoides, así como la capacidad antioxidante de esta por los métodos ABTS y DPPH.
- 4- Evaluar y monitorear fisicoquímicamente los productos cárnicos reformulados con la emulsión doble seleccionada, por medio de pruebas proximales, pH de los productos y análisis de perfil de textura.
- 5- Evaluar y monitorear las propiedades funcionales de los productos cárnicos reformulados con la emulsión doble seleccionada, por la determinación del contenido de fenoles totales, así como la capacidad antioxidante de estos por los métodos ABTS y DPPH.
- 6- Evaluar y monitorear la estabilidad oxidativa de los productos cárnicos reformulados con la emulsión doble, por medio de la prueba TBARS.

6 Hipótesis

La incorporación de compuestos bioactivos de xoconostle encapsulados en una emulsión doble, proporcionará a productos cárnicos emulsionados capacidad antioxidante y estabilidad oxidativa para obtener la base de un producto cárnico funcional.

7 Materiales y métodos

Se utilizó xoconostle variedad *Opuntia oligacantha* del municipio de Tezontepec de Aldama, estado de Hidalgo. Los frutos que se utilizaron se encontraron en estado de madurez fisiológica.

7.1 Primera etapa: caracterización del filtrado de xoconostle y evaluación de las emulsiones dobles

Las diferentes evaluaciones a las emulsiones dobles, salvo la medida de pH se realizaron a los días 1, 3, 7, 10, 14, 18, 21, 24, 28 y 35 de su elaboración.

7.1.1 Obtención del filtrado de xoconostle

El filtrado de xoconostle se obtuvo de acuerdo a Pérez-Alonso *et al.* (2015) con algunas modificaciones, el fruto se lavó, se picó, y posteriormente se molió en una licuadora industrial (BLENDER). La pulpa se filtró con papel filtro No. 40 (Whatman) para eliminar el exceso de materia sólida, el filtrado resultante fue tratado con una mezcla de enzimas pectinasas y hemicelulasas (Rohapect®B1L, Paniplus, S.A., Querétaro, México), se utilizaron 100 µl por cada 200 ml de filtrado, este se puso en agitación durante 2 horas en total obscuridad, finalmente se volvió a filtrar en papel filtro No. 40 y se sometió a refrigeración hasta el momento de su uso.



Figura 9. Filtrado de xoconostle.

7.1.2 Preparación del filtrado para su evaluación

La extracción de compuestos se realizó de acuerdo a Morales *et al.* (2012), con algunas modificaciones. Se tomaron 2 ml de filtrado, posteriormente se mezclaron con 40 ml de una mezcla etanol-agua 1:1 (alcohol etílico absoluto, Fermont PA Cert), la mezcla se agitó por 15 minutos en total oscuridad, transcurrido el tiempo se sometió a centrifugación a 10,000 rpm a 5 °C durante 15 minutos (Centrifuga HERMLE Z36HK). Se retiró el sobrenadante a un tubo limpio, mientras que el sedimento se mezcló con 30 ml de una mezcla agua-acetona 7:3, se agitó durante 15 minutos en total oscuridad, posteriormente se centrifugó a 10,000 rpm a 5°C durante 15 minutos y se retiró el sobrenadante. Finalmente se mezclaron 20 ml de los 2 sobrenadantes para su evaluación.

7.1.3 Determinación del contenido de fenoles totales en el filtrado de xoconostle

La determinación del contenido de compuesto fenólicos totales se realizó de acuerdo a Reyes-Munguía *et al.* (2009) con algunas modificaciones. Por triplicado, se tomó 1 ml del extracto de la sección 7.1.2 y se colocó en tubos de vidrio limpios, posteriormente se adicionaron 5 ml de reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich) diluido (1:10), se dejó reposar durante 8 minutos y posteriormente se agregaron 4 ml de una solución de carbonato de sodio (J.T. BAKER) al 7.5% y se agitó hasta lograr una muestra homogénea. Los tubos se almacenaron en completa oscuridad por 2 h a temperatura ambiente. Después de que transcurrió el tiempo las muestras se leyeron en un espectrofotómetro (JENWAY 6715) a una longitud de onda de 740 nm. Para la interpretación de resultados se elaboró una curva de calibración con ácido gálico, los resultados se expresaron como mg EAG/100 g de fruto.

7.1.4 Determinación del contenido de flavonoides en el filtrado de xoconostle

Esta prueba se realizó de acuerdo a Arvouet-Grand *et al.* (1994) con algunas modificaciones. Se preparó una solución metanólica (metanol, Fermont) con AlCl₃ al 2% (REASOL grado analítico). Por triplicado, en tubos limpios se agregaron 2 ml del extracto de la sección 7.1.2, inmediatamente se agregaron 2 ml de la solución de AlCl₃ al 2%, los tubos se agitaron y se almacenaron en completa oscuridad por

10 min. Finalmente, después que transcurrió el tiempo, se leyeron las muestras en un espectrofotómetro (JENWAY 6715) a una longitud de onda 415 nm. Para la interpretación de resultados se elaboró una curva de calibración con Quercetina, los resultados se expresaron como mg EQ/100 g de fruto.

7.1.5 Determinación de la capacidad antioxidante del filtrado de xoconostle por el método ABTS

La prueba se realizó de acuerdo a Re *et al.* (1999) con algunas modificaciones. Esta prueba se basa en la reducción de la absorbancia de un radical estable por medio de una fuente antioxidante. El radical se preparó por la mezcla de 7 mM de reactivo ABTS 2,2-Azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS•+) (Sigma-Aldrich) aforado a 10 ml con agua destilada y un volumen igual de una solución stock con persulfato de potasio al 2.45 mM, la mezcla se dejó en agitación por 16 horas en total obscuridad y a temperatura ambiente. Una vez preparado el radical, este se ajustó a una absorbancia de 0.7 ± 0.02 con la adición de etanol (alcohol etílico absoluto, Fermont) al 20% en un espectrofotómetro (JENWAY 6715) a una longitud de onda de 734 nm, posteriormente, por triplicado, en tubos limpios se adicionaron 100 μ l del extracto obtenido en la sección 7.1.2, así como 3 ml del radical ABTS ajustado, los tubos se agitaron y se almacenaron en completa obscuridad por 10 minutos. Finalmente, las muestras se leyeron en un espectrofotómetro (JENWAY 6715) a una longitud de onda de 734 nm. Para la interpretación de resultados se realizó una curva de calibración elaborada con ácido ascórbico, los resultados se expresaron en mg EAA/100 g de fruto.

7.1.6 Determinación de la capacidad antioxidante del filtrado de xoconostle por el método DPPH

La prueba DPPH se realizó de acuerdo a Brand-Williams *et al.* (1995) con algunas modificaciones. Este método consiste en la disminución en la absorbancia de un radical estable DPPH (2,2 difenil-1-picrilhidrazil) (Sigma-Aldrich) por medio de una fuente antioxidante. Inicialmente se preparó el radical que se utilizó en la prueba a una concentración de 6.1×10^{-5} M de radical, en metanol (metanol, Fermont) al 80%, se dejó en agitación en total obscuridad durante al menos 2 h. Una vez preparado el radical, se ajustó a una absorbancia de 0.7 ± 0.02 por medio de la adición de

metanol al 80% en un espectrofotómetro (JENWAY 6715) a una longitud de onda de 515 nm. Posteriormente, por triplicado, en tubos de vidrio limpios se adicionaron 0.5 ml del extracto obtenido en la sección 7.1.2, así como 2.5 ml del radical ajustado, los tubos se agitaron y se almacenaron en completa oscuridad a temperatura ambiente durante 1 h. Finalmente las muestras se leyeron en un espectrofotómetro (JENWAY 6715) a una longitud de onda de 515 nm.

Para la interpretación de resultados se realizó una curva de calibración elaborada con ácido ascórbico, los resultados se expresaron en mg EAA/100 g de fruto.

7.1.7 Elaboración de la emulsión doble

La elaboración de la emulsión se llevó a cabo de acuerdo a Pimentel *et al.* (2015) con algunas modificaciones. Esta se elaboró en 2 etapas, la primera consistió en la elaboración de una emulsión primaria por la incorporación de la fase acuosa interna en la fase oleosa (W_1/O), posteriormente la emulsión primaria se reemulsificó en una segunda fase acuosa (W_2). La fase acuosa interna (W_1) estuvo conformada por el filtrado de xoconostle de la sección 7.1.1 o agua en el tratamiento control, la fase lipídica (O) estuvo conformada por aceite de canola (Capullo®, Unilever de México, S.A. de C.V., Tultitlán, Edo. de México, México) con una mezcla de una parte de emulgente hidrófilo Panodan SDK (ésteres de monoglicéridos y diglicéridos de ácido diacetil tartárico) y cuatro partes de emulgente lipófilo Grindsted PGPR 90 (ésteres de ácidos grasos de poliglicerol y polirricinoleato), ambos adquiridos de Danisco México, S.A. de C.V. (México, D.F. México). El proceso de emulsificación de la emulsión primaria se realizó en un homogeneizador Ultra Turrax IKA T25, a 10,000 rpm durante 5 minutos en un baño de agua con hielo. La elaboración de la emulsión doble consistió en reemulsificar la emulsión primaria en una segunda fase acuosa (W_2) a 3,000 rpm durante 10 minutos en un baño de agua con hielo. Se realizaron 4 formulaciones de fase acuosa externa (W_2) para 4 tratamientos de emulsión doble, los cuales consistieron en la disolución de diferentes porcentajes (10, 20, 30 y 35% para seleccionar la más adecuada) de aislado proteico de suero de leche instantáneo (Hilmar™ 9410) en agua, la proteína se dejó en agitación al menos 3 horas, posteriormente se llevaron a refrigeración durante 14 h para una mejor disolución.

7.1.8 Determinación del diámetro de gota de la emulsión

Esta prueba se realizó de acuerdo a Pimentel *et al.* (2009) con algunas modificaciones. Las medidas fueron tomadas por medio de fotos de las emulsiones utilizando un microscopio óptico Olympus BX 45 (Olympus Optical Co. Ltd, Tokyo, Japón) y el software analizador de imágenes Image-Pro Plus (versión 4.5, Media Cybernetics, Inc., Silver Springs, MD, USA). Se tomó una muestra de las emulsiones diluidas en agua destilada y se colocó en un portaobjetos, posteriormente se llevó al microscopio donde se midió el diámetro de 30 glóbulos completamente al azar. Las emulsiones dobles se observaron durante 35 días de almacenaje en los días 1, 3, 7, 10, 14, 18, 21, 24, 28 y 35.

7.1.9 Obtención del extracto de la emulsión doble con filtrado de xoconostle para las pruebas Fenoles, Flavonoides, ABTS y DPPH

La obtención del extracto se realizó de acuerdo a Hemar *et al.* (2010) con algunas modificaciones. Se tomaron 10 ml de emulsión doble y se colocaron en tubos de centrifuga de 50 ml, posteriormente se pusieron en centrifugación (Centrifuga HERMLE Z36HK) a 12,000 rpm durante 30 min a 20 °C para separar la fase acuosa externa de la emulsión primaria. Posteriormente se retiró la fase acuosa externa del tubo, al mismo tubo se agregaron 12 ml de una mezcla de 50% etanol, 50% metanol (Fermont). El contenido del tubo se agitó durante 30 min en completa oscuridad. Después que transcurrió el tiempo de agitación, los tubos se volvieron a pasar a la centrifuga que se ajustó a 12,000 rpm durante 30 min a 4 °C. Finalmente con mucho cuidado, el sobrenadante se pasó a tubos limpios.

Para la prueba de fenoles se realizó una dilución extra 1:1 del extracto antes descrito con el mismo volumen de agua destilada, esta acción impidió enturbiamientos en los extractos a la hora de reaccionar con el reactivo de Folin, dicha dilución se tomó en cuenta cuando se interpretaron los resultados.



Figura 10. Fases de extracción de los compuestos del xoconostle de la emulsión doble. De izquierda a derecha: 1) emulsiones dobles, 2) separación de la fase acuosa externa y la emulsión primaria, 3) adición de etanol y metanol a la emulsión primaria restante (agitación), 4) separación de los compuestos, aceite y restos de aislado proteico, 5) separación de los compuestos (sobrenadante final).

7.1.10 Determinación del contenido de fenoles totales en la emulsión doble

El contenido de fenoles en la emulsión se determinó de la misma forma que en la sección 7.1.3. En esta sección se evaluó el extracto obtenido en la sección 7.1.9. Los resultados se expresaron en mg EAG/100 ml de emulsión.

7.1.11 Determinación del contenido de flavonoides en la emulsión doble

El contenido de flavonoides en la emulsión se determinó de la misma forma que en la sección 7.1.4. En esta sección se evaluó el extracto obtenido en la sección 7.1.9. Los resultados se expresaron en mg EQ/100 ml de emulsión.

7.1.12 Determinación de la capacidad antioxidante de las emulsiones dobles por el método ABTS

La capacidad antioxidante de las emulsiones por la prueba ABTS se determinó de igual forma que en la sección 7.1.5. En esta sección se evaluó el extracto obtenido en la sección 7.1.9. Los resultados se expresaron en porcentajes de inhibición de radical como lo reportado en la bibliografía.

7.1.13 Determinación de la capacidad antioxidante de las emulsiones dobles por el método DPPH

La capacidad antioxidante de las emulsiones por la prueba DPPH se determinó de igual forma que en la sección 7.1.6. En esta sección se evaluó el extracto obtenido

en la sección 7.1.9. Los resultados se expresaron en porcentaje de inhibición de radical como lo reportado en la bibliografía.

7.2 Segunda etapa: evaluación fisicoquímica de los productos cárnicos reformulados con emulsión doble

Las evaluaciones de las diferentes pruebas a los productos cárnicos se realizaron a los días 1, 7, 14, 21, 28 y 35 de su elaboración.

7.2.1 Elaboración de los productos cárnicos

La elaboración de los productos cárnicos se realizó de acuerdo a Cofrades *et al.* (2013) con algunas modificaciones. La carne y la grasa animal se consiguieron frescas en un mercado local de Tulancingo de Bravo Hidalgo, la carne molida y la grasa se sometieron a congelación hasta el momento de su uso. Las formulaciones de los distintos productos cárnicos están representadas en la tabla 3. Inicialmente se agregó la correspondiente porción de carne, sal y una parte de hielo en un cutter (Dito-Sama F 23200), lo anterior se molió durante minuto y medio, después de este tiempo se agregó la grasa animal o emulsión doble según la formulación correspondiente y se continuó moliendo por 1 minuto y medio más, finalmente se agregó la mitad restante de hielo y se molió durante 2 minutos más monitoreando que la temperatura no superara los 11 °C. La masa cárnica se pasó a embutir en un equipo (BG-PRUFRZERT) usando tripa sintética de celulosa (DeWied International de 20 mm de diámetro), finalmente las muestras se llevaron a cocción en agua caliente hasta que su temperatura interna alcanzó los 72 °C durante 30 minutos, finalmente estas se empacaron al vacío (equipo Tor Rey EVD48) y se almacenaron a 4°C hasta el día de su evaluación.

Tabla 3. Formulaciones de los productos cárnicos elaborados en este experimento.

	Carne %	Grasa animal %	Emulsión doble %	Hielo %	Sal 2%
Control	65	20	-----	13	2
PCED 5%	65	-----	5	28	2
PCED 10%	65	-----	10	23	2
PCED 20%	65	----	20	13	2
PCED 30%	65	----	30	3	2

Control: Producto cárnico con 20% grasa animal, PCED 30%: producto cárnico con emulsión doble al 30% de su formulación, PCED 20%: producto cárnico con emulsión doble al 20% de su formulación, PCED 10%: producto cárnico con emulsión doble al 10% de su formulación, PCED 5%: producto cárnico con emulsión doble al 5% de su formulación.

7.2.2 Pruebas proximales

7.2.2.1 Determinación del contenido de humedad de los productos cárnicos

Esta prueba se realizó de acuerdo al método de la AOAC (1997). Por triplicado, se pesaron 10 g de producto cárnico, estos se colocaron en capsulas de aluminio que previamente se colocaron a peso constante. Las muestras se introdujeron en una estufa (Craft) a 120°C, durante 8 h. Cuando finalizó el tiempo de secado de las muestras se colocaron en desecadores por 30 min, finalmente estas se pesaron. Los resultados se determinaron por diferencia de pesos y se expresaron en porcentaje.

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{W1 - W2}{PM} * 100$$

Donde:

W1= Peso de la capsula más la muestra húmeda (g).

W2= Peso de la capsula más la muestra seca (g).

PM= Peso de la muestra (g).

7.2.2.2 Determinación del contenido de proteína de los productos cárnicos

Esta prueba se realizó de acuerdo a la metodología de Micro Kjeldahl AOAC (1997). Por triplicado, se tomaron .5 g de muestra de producto cárnico, las muestras se introdujeron en matraces Kjeldahl, así como 15 ml de ácido sulfúrico concentrado (REASOL) y 5 g de mezcla digestora, los matraces se colocaron en el equipo Micro-Kjeldahl (Büchi. Model b-426) donde se realizó la digestión por 3 h, donde ocurrió un cambio en la coloración de negro a verde. Posteriormente el resultante se destiló con hidróxido de sodio, y el destilado fue captado en ácido bórico al 2% (J.T.Baker) y finalmente se tituló con ácido sulfúrico al 0.1 N. El contenido de nitrógeno total se calculó por medio de la siguiente formula:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(V1 - V2) * N * 0.014}{PM} * 100$$

Donde:

V1: ml problema de H₂SO₄ gastado en la titulación (ml).

V2: ml blanco de H₂SO₄ gastados en la titulación (ml).

N: Normalidad del H₂SO₄(N).

PM: Peso de la muestra (g).

% de proteína: % de N x 6.25

7.2.2.3 Determinación del contenido de grasa en los productos cárnicos

Esta prueba se realizó de acuerdo al método Soxhlet, metodología propuesta por la AOAC (1997). Para esta prueba las muestras fueron secadas en estufa como en la sección 7.2.2.1. Para determinar el contenido de grasa de los productos cárnicos se utilizó el método Soxhlet y un sistema de extracción (Büchi, Modelo BUL36681), por triplicado, las muestras secas se colocaron dentro de cartuchos de celulosa, los cuales se colocaron en el equipo donde se sometieron a baños de éter de petróleo (Fermont) durante 4 h, posteriormente los vasos Büchi (a peso constante antes de la prueba) donde se almacenó la grasa retirada por los baños de éter, se colocaron

MATERIALES Y MÉTODOS

en un desecador por 1 h para eliminar los restos de solvente y finalmente estos se pesaron. Los resultados se determinaron por diferencia de pesos y se expresaron en porcentaje. Los resultados se obtuvieron mediante la siguiente formula:

$$\text{Extracto etéreo: } \frac{W1 - W2}{PM} * 100$$

Donde:

W1= Peso del vaso Büchi con grasa (g).

W2= Peso del vaso vacío a peso constante (g).

PM= Peso de muestra (g).

7.2.2.4 Determinación del contenido de cenizas en los productos cárnicos

Esta prueba se realizó de acuerdo al método de la AOAC (1997). Por triplicado se pesaron 5 g de producto cárnico en crisoles (a peso constante) estos se colocaron en triángulos de porcelana sobre un tripie, con ayuda de un mechero Bunsen las muestras se calcinaron. Una vez que las muestras se calcinaron, los crisoles se introdujeron en una mufla (Felisa) durante 4 h a 550 °C. Finalmente los crisoles se colocaron en desecadores para enfriarse y posteriormente se pesaron. Los resultados se expresaron en porcentaje y se utilizó la siguiente formula.

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{W1 - W2}{PM} * 100$$

Donde:

W1= Peso del crisol con cenizas (g).

W2= Peso del crisol vacío a peso constante (g).

PM= Peso de la muestra (g).

7.2.3 pH de los productos cárnicos

Esta prueba se realizó de acuerdo a lo reportado por Jin *et al.* (2015) con algunas modificaciones. La medida del pH se realizó con un potenciómetro (HANNA HI2211). Por triplicado, se pesaron aproximadamente 5 g de cada muestra, se colocaron en vasos de precipitado de 80 ml, donde se adicionaron 45 ml de agua destilada, todo se homogenizó (Ultra Turrax IKA T25) y el pH se midió. El potenciómetro se calibró siempre que se usó con soluciones buffer de pH 4.0 y 7.0.

7.2.4 Análisis de perfil de textura

Esta prueba se realizó de acuerdo a lo reportado por Cofrades *et al.* (2013) con algunas modificaciones. Se realizaron 8 repeticiones por cada tratamiento, se elaboraron cubos de aproximadamente 1 x 1 x 1 centímetros. Se usó un texturómetro (Brookfield CT3 texture analyzer) para la evaluación de las muestras, estas se comprimieron axialmente a un 40% de su altura original, se aplicó una celda de carga de 4.5 kg, aplicada a una velocidad de 1 mm/s, con uso de una sonda TA3/1000 y una mesa TA-BT-KI. Los atributos medidos fueron: dureza, cohesividad, elasticidad y masticabilidad. Las pruebas se realizaron a temperatura ambiente.

7.3 Etapa 3: evaluación de las propiedades funcionales de los productos cárnicos reformulados con emulsión doble

7.3.1 Obtención del extracto del producto cárnico para la determinación del contenido de fenoles totales

La obtención del extracto se realizó de acuerdo a Isaza *et al.* (2011) con algunas modificaciones. Se pesaron 7 g de producto cárnico, los cuales se homogenizaron con 10 ml de agua destilada en un equipo homogeneizador (Ultra Turrax IKA T25) durante 1 minuto, el homogenizado se agitó durante 30 min en total oscuridad, posteriormente la mezcla fue filtrada en papel Whatman del No. 1. Finalmente, el filtrado obtenido se mezcló con 25 ml de agua destilada, la mezcla se conservó en la oscuridad y refrigeración hasta su uso.

7.3.2 Obtención del extracto del producto cárnico para las pruebas de capacidad antioxidante ABTS y DPPH

La obtención del extracto se realizó de acuerdo a lo reportado por Sánchez-Muniz *et al.* (2012) con algunas modificaciones. Se tomó 1 gramo de muestra, el cual fue homogenizado por 30 s en una mezcla de 60% etanol, 40% agua destilada en un homogeneizador (Ultra Turrax IKA T25), el resultante se agitó en la obscuridad durante 30 min, finalmente el agitado se pasó a filtrar en embudos lisos de vidrio usando papel Whatman del No.1, el filtrado se conservó en la obscuridad y refrigeración hasta su uso.

7.3.3 Determinación del contenido de fenoles totales en los productos cárnicos

El contenido de fenoles en los productos cárnicos se determinó de la misma forma que en la sección 7.1.3. En esta sección se evaluó el extracto obtenido en la sección 7.3.1. Los resultados se expresaron en mg EAG/100 g de producto cárnico.

7.3.4 Determinación de la capacidad antioxidante de los productos cárnicos por el método ABTS

La capacidad antioxidante de los productos cárnicos se determinó por medio de la prueba ABTS, de la misma forma que en la sección 7.1.5. En esta sección se evaluó el extracto obtenido en la sección 7.3.2. Los resultados se expresaron en porcentajes de inhibición de radical como lo reportado en la bibliografía.

7.3.5 Determinación de la capacidad antioxidante de los productos cárnicos por el método DPPH

La capacidad antioxidante de los productos cárnicos se determinó por la prueba DPPH de la misma forma que en la sección 7.1.6. En esta sección se evaluó el extracto obtenido en la sección 7.3.2. Los resultados se expresaron en porcentaje de inhibición de radical como lo reportado en la bibliografía.

7.3.6 Estabilidad oxidativa de los productos cárnicos por la prueba: Sustancias que reaccionan con ácido tiobarbitúrico

Esta prueba se realizó de acuerdo con Wang *et al.* (2002) con algunas modificaciones. Se preparó una solución extractora la cual contenía ácido tricloroacético (Fermont PA Cert) al 7.5%, ácido gálico (Sigma-Aldrich) y EDTA sal

disódica (MEYER) ambos al 0.1%. Se tomaron 2.5 g de producto cárnico y se homogenizaron con 20 ml de solución extractora en un equipo homogeneizador (Ultra turrax T25 IKA) a 3,000 rpm durante 1 min, el brazo del homogeneizador se enjuago con 5 ml de solución extractora completando un volumen de aproximadamente 25 ml. El homogenizado se pasó a centrifugación (Centrifuga HERMLE Z36HK) a 9,000 rpm a 20 °C durante 10 minutos, posteriormente, por triplicado, se tomaron 2 ml de sobrenadante resultante y se mezclaron con 2 ml de ácido tiobarbitúrico (MP Biomedicals, LLC) al 80 mM. La mezcla se incubó a 40 °C durante 90 min. Finalmente se leyeron las absorbancias de las muestras en un espectrofotómetro (JENWAY 6715) a una longitud de onda de 532 nm.

Los valores de MAD fueron interpretados por medio de una curva de calibración elaborada con 1,1,3,3-tetrametoxipropano (Malonaldehído bis, dimetilacetal) (Sigma-Aldrich) en diferentes concentraciones. Los resultados se expresaron en mg de MAD/kg de producto cárnico.

7.4 Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico completamente al azar con una comparación de medias de Tukey cuando se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$), mediante el paquete estadístico IBM SPSS Statistics 20.

8 Resultados y discusiones

8.1 Etapa 1: Caracterización del filtrado de xoconostle y evaluación de las emulsiones dobles

8.1.1 Caracterización funcional del filtrado de xoconostle (fenoles totales, flavonoides, pH y capacidad antioxidante por los métodos ABTS y DPPH)

En la tabla 4 se exhiben los resultados de las diferentes pruebas realizadas para la caracterización del filtrado de xoconostle.

Tabla 4. Caracterización del filtrado de xoconostle.

Fenoles totales	Flavonoides	ABTS	DPPH	Porcentaje de inhibición de radical DPPH	pH del filtrado.
235.32 ± 1.18 mg EAG/100 g.	145.70 ± 4.29 mg EQ/100 g.	240.93 ± 1.39 mg EAA/100 g.	568.79 ± 1.90 mg EAA/100 g.	52.61 ± 0.21 %	3.17 ± 0.005

Los resultados se expresaron en medias ± desviación estándar. mg EAG/100 g: miligramos equivalentes de ácido gálico por cada 100 g de fruto fresco, mg EQ/100 g: miligramos equivalentes de Quercetina por cada 100 g de fruto fresco, mg EAA/100 g: miligramos equivalentes de ácido ascórbico por cada 100 g de fruto fresco.

8.1.1.1 Contenido de fenoles y flavonoides del filtrado

El contenido de fenoles encontrado en el filtrado de xoconostle fue de 235.32 ± 1.18 mg EAG/100 g de fruto, comparable a lo reportado por Hernández-Fuentes *et al.* (2015) donde se evaluaron las características fisicoquímicas, nutricionales y funcionales de 10 genotipos de xoconostle, en dicho trabajo, la pulpa de la variedad Ulapa mostró un contenido de estos compuestos de 278 mg EAG/100 g en peso fresco de fruto, siendo comparable al encontrado en el presente trabajo, diferente de lo reportado por Osorio *et al.* (2011) quienes evaluaron el contenido de compuestos fenólicos, así como la capacidad antioxidante de frutos de *Opuntia joconostle* donde se reportaron valores correspondientes a 148 mg EAG/100 g de fruto fresco, dichos valores fueron menores a lo reportado en el presente trabajo.

En la prueba de contenido de flavonoides, el filtrado de xoconostle evaluado en el presente trabajo, exhibió valores correspondientes a 145.70 ± 4.29 mg EQ/100 g de fruto, estos valores son comparables a lo reportado por Cenobio-Galindo (2015), quien al igual que en el presente trabajo evaluó la pulpa de la variedad de xoconostle *Opuntia oligacantha* y se reportó un contenido de 96.36 mg EQ/100 g de pulpa. Por otra parte Morales *et al.* (2012) evaluaron las propiedades nutricionales y antioxidantes de pulpa y semillas en 2 variedades de xoconostle comerciales (*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber ex Diguét, cv. Cuaresmeño, y *Opuntia matudae* Scheinvar, cv. Rosa), para la prueba de flavonoides en los frutos completos se encontraron valores de: 393 y 86 mg EC/100 g de extracto respectivamente, siendo uno mayor y otro inferior a lo reportado en este trabajo.

Los compuestos fenólicos se originan principalmente en las plantas, que los sintetizan en gran cantidad, como producto del metabolismo secundario. Algunos son indispensables para las funciones fisiológicas vegetales, otros participan en funciones de defensa ante situaciones de estrés y estímulos diversos (hídrico, luminoso, etc.) (Quiñones *et al.*, 2012). Con base en lo anterior, pueden explicarse las diferencias encontradas en los contenidos de compuestos fenólicos y flavonoides respecto de otros trabajos, ya que la concentración de estos compuestos dependerá tanto del fruto, el estrés al que este es sometido por disponibilidad de agua, así como a las diferentes condiciones ambientales en que cada fruto se desarrolló.

8.1.1.2 Capacidad antioxidante del filtrado de xoconostle por los métodos ABTS y DPPH

Respecto a la capacidad antioxidante, para la prueba ABTS, los valores encontrados en el filtrado de la presente prueba correspondieron a 240.93 ± 1.39 mg EAA/100 g de fruto, los valores encontrados en el presente trabajo son superiores a lo reportado por Cenobio-Galindo (2015), donde de igual forma se evaluó la capacidad antioxidante de xoconostle *Opuntia oligacantha* por la prueba ABTS y reportó un valor correspondiente a 119.44 mg EAA/100 g de pulpa, puede establecerse la misma comparación con lo reportado por Díaz Monroy, (2017) , quien también evaluó la capacidad antioxidante de xoconostle *Opuntia*

oligacantha y reportó un valor correspondiente a 177.56 mg EAA/100 g de fruto, un valor comparable al reportado en el presente trabajo.

En la prueba de capacidad antioxidante DPPH, el filtrado evaluado en el presente trabajo mostró una capacidad equivalente a 568.79 ± 1.90 mg EAA/100 g de fruto, comparable a lo reportado por Morales *et al.* (2012), donde la variedad de xoconostle cuaresmeño en la prueba DPPH inhibición de radical EC_{50} arrojó valores correspondientes a 514 mg EAA/100 ml de extracto de la pulpa. Otra forma de interpretar los resultados de la capacidad antioxidante puede ser mediante el porcentaje de inhibición de radical, como lo reportado por Osorio-Esquivel *et al.* (2011) donde se evaluó la presencia de compuestos bioactivos en *Opuntia joconostle*, con diferentes métodos de extracción, en el trabajo citado el extracto metanólico del fruto completo arrojó un porcentaje de inhibición de radical del 59.35%, comparable al reportado en este trabajo que correspondió a $52.61 \pm 0.21\%$.

Los notables resultados obtenidos en ambas pruebas de capacidad antioxidante (ABTS y DPPH) están respaldados por los buenos resultados obtenidos en la prueba de fenoles totales, así como en la prueba de contenido de flavonoides del filtrado de xoconostle. Los compuestos fenólicos como antioxidantes naturales poseen una alta actividad donadora de H, así como una alta capacidad de inhibición de radicales. Los principales compuestos fenólicos antioxidantes son: ácidos fenólicos, diterpenos fenólicos, flavonoides y aceites volátiles. Algunos compuestos fenólicos previenen la formación de radicales libres y su propagación, mientras que otros los eliminan y poseen actividad quelante (metales de transición). Los ácidos fenólicos atrapan radicales libres; mientras que los flavonoides eliminan radicales libres y de igual forma tienen actividad quelante contra metales (Fe^{2+} , Fe^{3+} y Cu^{2+}). La capacidad antioxidante de los compuestos de origen natural (fenoles) depende de la estructura de su esqueleto, así como el patrón de grupos funcionales en este, un ejemplo son los grupos (-OH) quienes en los flavonoides deciden el potencial de inhibición de radical de estos compuestos (Yogesh Kumar *et al.*, 2015).

8.1.1.3 pH del filtrado del fruto xoconostle

En la tabla 4 se muestra el resultado obtenido en la medición de pH del filtrado del fruto, el cual correspondió a 3.17 ± 0.005 , el valor obtenido es comprable a lo reportado por Hernández-Fuentes *et al.* (2015), quienes evaluaron las características fisicoquímicas, nutricionales y funcionales de 10 genotipos de xoconostle producidos en México, los valores reportados de los diferentes frutos se encontraron en un rango de 2.74 a 3.54. Al igual que en el presente trabajo se evaluó la variedad *Opuntia oligacantha* rosa y rojo, este último exhibió un valor de pH correspondiente a 3.20, similar a lo aquí reportado, otras variedades de igual forma exhibieron valores comparables a los encontrados en esta investigación: invierno (3.12), virgen (3.10), manzano (3.22). El valor de pH encontrado en esta prueba entró en el rango reportado por Hernández y colaboradores, lo cual habla de que el fruto aquí evaluado se encontró en buenas condiciones cuando se utilizó.

8.1.2 pH de las emulsiones dobles con filtrado de xoconostle encapsulado

En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación del pH de las emulsiones dobles formuladas con diferentes porcentajes de aislado proteico (AP) de suero de leche, con el fin de encontrar la formulación adecuada para incorporar a los productos cárnicos. Existieron diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$). Esta prueba se vio influenciada por el porcentaje de AP adicionado a cada formulación. La tendencia encontrada mostró un aumento en el valor de pH conforme disminuía el porcentaje de AP en la formulación. El menor valor se encontró en el tratamiento con 35% AP, el cual mostró un valor de 6.04 ± 0.01 , seguido por el tratamiento con AP al 30% con un valor de pH de 6.16 ± 0.01 , posteriormente se encontraron los tratamientos con AP al 20 y 10%, los cuales arrojaron valores correspondientes a 6.27 ± 0.01 y 6.29 ± 0.00 respectivamente, estos 2 últimos tratamientos mostraron diferencias numéricas, pero no estadísticas.

Tabla 5. Valores de pH de las emulsiones dobles elaboradas con diferentes porcentajes de aislado proteico de suero de leche.

Tratamientos con diferentes porcentajes de aislado proteico.	pH
ED aislado al 35%	6.04 ± 0.01 ^a
ED aislado al 30%	6.16 ± 0.01 ^b
ED aislado al 20%	6.27 ± 0.01 ^c
ED aislado al 10%	6.29 ± 0.00 ^c

Los resultados se expresaron en medias \pm desviación estándar. Las letras en superíndice diferentes expresan diferencias significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$). ED 35%: emulsión doble con 35% aislado proteico de suero de leche en su formulación, ED 30%: emulsión doble con 30% aislado proteico de suero de leche en su formulación, ED 20%: emulsión doble con 20% aislado proteico de suero de leche en su formulación, ED 10%: emulsión doble con 10% aislado proteico de suero de leche en su formulación.

El pH es un factor de suma importancia en los parámetros de calidad de la carne, después de 24 h *postmortem* este tiende a disminuir debido a la formación de ácido láctico, con tendencia hacia el punto isoeléctrico de las proteínas ocasionando una disminución en la repulsión por cargas, la red proteica se tensa y esto se traduce en una disminución de la capacidad de retención de agua, se ha descubierto que la estabilidad de productos cárnicos emulsionados es mejor en valores de pH superiores al punto isoeléctrico de las proteínas, con carnes de igual forma con pH superior a 5.9-6 (Toldrá, 2010). Como puede observarse en la tabla, todas las emulsiones formuladas muestran un pH adecuado para ser incorporadas a un producto cárnico emulsionado de tipo salchicha, por tal razón, el segundo criterio de selección fue la estabilidad de cada emulsión.

8.1.3 Estabilidad física de las emulsiones dobles con filtrado de xoconostle encapsulado

La estabilidad física de las emulsiones dobles sirvió como criterio para seleccionar la formulación que se incorporó en los productos cárnicos, esto debido a que en la prueba de pH las 4 formulaciones parecieron ser adecuadas para su incorporación en productos cárnicos de este tipo.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Al día cero de evaluación de las emulsiones, las 4 formulaciones permanecieron estables, posteriormente al día 3 el tratamiento con 35% aislado proteico (AP) permaneció estable, seguido por el tratamiento con AP al 30%, mientras que los tratamientos con 20 y 10% AP mostraron una notable separación. Al día 7 de almacenaje el tratamiento con AP al 35% no mostró modificaciones, seguido por el tratamiento con AP al 30%, mientras que las emulsiones con 20 y 10% mostraron una separación casi completa de la emulsión primaria con la fase acuosa secundaria. Al día 10 de almacenaje nuevamente el tratamiento con AP al 35% permaneció sin mostrar signos de inestabilidad, de los tratamientos restantes únicamente la emulsión con AP al 30% fue la cual aún no se separaba de forma completa. A partir del día 14 únicamente el tratamiento con AP al 35% permaneció estable, no fue hasta el día 24 donde se comenzó a percibir una ligera precipitación del exceso de aislado proteico, sin embargo, esta emulsión permaneció estable hasta el día 35 de almacenaje.

El hecho de que la emulsión con mayor contenido de aislado proteico de suero de leche (35%) permaneciera estable por más tiempo, puede atribuirse a que el alcance de la adsorción de las proteínas está influenciado por la hidrofobicidad de la superficie y carga, una vez adsorbidas, se desarrollan y reorganizan su estructura terciaria y secundaria para exponer los residuos hidrófobos a la fase hidrófoba. La alta concentración de proteínas en la superficie conduce a la agregación y la formación de interacciones. Por lo tanto, las propiedades mecánicas de la capa adsorbida dependen de la estructura de la proteína adsorbida y de la fuerza de las interacciones entre ellas, que a su vez pueden influir en la estabilidad de las emulsiones formadas a partir de proteínas con diferentes estructuras secundarias (Wilde *et al.*, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Día 0 de almacenaje



Día 3 de almacenaje



Día 7 de almacenaje



Día 10 de almacenaje



Día 14 de almacenaje



Día 18 de almacenaje



Día 21 de almacenaje



Día 24 de almacenaje



Día 28 de almacenaje



Día 35 de almacenaje



Figura 11. Evolución de la estabilidad física de las emulsiones dobles con diferentes porcentajes de aislado proteico de suero de leche. En todas las fotos de izquierda a derecha se muestran los tratamientos: 1) ED con aislado proteico al 35%, 2) ED con aislado proteico al 30%, 3) ED con aislado proteico al 20%, 4) ED con aislado proteico al 10%.

8.1.4 Diámetro de gota de las emulsiones dobles

En la figura 12 se muestra la evolución del diámetro de gota de las emulsiones dobles, se encontraron diferencias significativas principalmente en la evolución de los tratamientos respecto al tiempo ($P < 0.05$). La prueba se vio principalmente influenciada por el tipo de material encapsulado, así como por el tiempo de almacenaje.

El diámetro de ambas emulsiones mostró una tendencia a aumentar durante el periodo de almacenaje, al día 0 de evaluación la emulsión con filtrado de xoconostle (EDX) inició la prueba con un tamaño de gota correspondiente a $4.06 \pm 0.41 \mu\text{m}$, posteriormente, este aumentó de forma gradual casi sin mostrar incrementos de diámetro abruptos, al día 18 de evaluación el diámetro de este tratamiento exhibió un tamaño correspondiente a $4.96 \pm 0.12 \mu\text{m}$, posteriormente esta emulsión continuó con un comportamiento similar al mostrado en la primera parte del periodo de almacenaje, para finalizar la prueba con un tamaño de gota correspondiente a $5.83 \pm 0.14 \mu\text{m}$. Por otra parte, el tratamiento control con agua encapsulada (EDC) mostró una tendencia similar al tratamiento EDX, la emulsión control inició la prueba con un tamaño de gota de $3.55 \pm 0.26 \mu\text{m}$, a diferencia del tratamiento EDX, el tratamiento control mostró un crecimiento más notable los primeros días de evaluación, al día 3 y 7 dicho tratamiento exhibió tamaños correspondientes a 3.91 ± 0.15 y $4.48 \pm 0.16 \mu\text{m}$, como se puede observar en la figura 12, en el periodo de los primeros 7 días se encontraron los aumentos más notables en el crecimiento de gota de este tratamiento, cabe resaltar el periodo que comprendió entre los días 7 y 10, en dicho periodo el tamaño de gota de EDC sobrepasó al tamaño de gota de EDX a pesar de que la EDC inició la prueba con un tamaño de gota inferior. A partir del día 10, la EDC mostró tamaños superiores a los de EDX, a la mitad de la prueba (día 18) la EDC exhibió un diámetro de gota correspondiente a $5.26 \pm 0.37 \mu\text{m}$, posteriormente mostró un aumento gradual, dicho tratamiento finalizó la prueba con un tamaño correspondiente a $6.26 \pm 0.38 \mu\text{m}$.

La tendencia en el aumento en el tamaño de gota de ambas formulaciones puede deberse a algunos de los mecanismos de inestabilidad que afectan a las emulsiones dobles, de acuerdo con McClements (2010), las ED son susceptibles a algunos de

RESULTADOS Y DISCUSIONES

los mecanismos de inestabilidad que afectan a las emulsiones convencionales, sin embargo estas pueden presentar mecanismos de inestabilidad extra asociados con la presencia de la fase acuosa interna (W_1), las gotas de la fase acuosa interna son susceptibles a la floculación, coalescencia y maduración de Ostwald, sin embargo estas también pueden ser inestables como resultado de la difusión de las moléculas de agua entre las fases acuosas. Se propone que el efecto de aumento en el tamaño de gota en el presente trabajo pueda deberse a la coalescencia de las gotas de agua internas o el fenómeno de maduración de Ostwald, debido a que en ambos casos se presenta un crecimiento de gota de la emulsión de acuerdo con (Aranberri, 2006).

Por otra parte, Cofrades *et al.* (2013) reportaron un efecto similar, en dicho trabajo se realizaron 2 formulaciones de ED para posteriormente incorporarlas a productos cárnicos. Similar al presente trabajo, se usó PGPR como emulgente lipófilo, aceite de oliva como fase lipídica y como emulgentes hidrófilos de la fase acuosa externa, caseinato de sodio o concentrado de proteína de suero de leche (fuentes proteicas, comparable al presente trabajo). El diámetro se evaluó al día 0 y día 7, la emulsión elaborada con caseinato de sodio exhibió un aumento en los diámetros durante el almacenaje, con tamaños de gota correspondientes a 3.77 y 4.54 μm para los días 0 y 7 respectivamente, comparable a lo reportado en el presente trabajo. Cofrades y colaboradores atribuyeron este fenómeno a una ligera pérdida de estabilidad de las emulsiones, se sugirió que durante el almacenaje en frío existió alguna difusión/expulsión de agua, coalescencia de gotas o floculación, y maduración de Ostwald.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

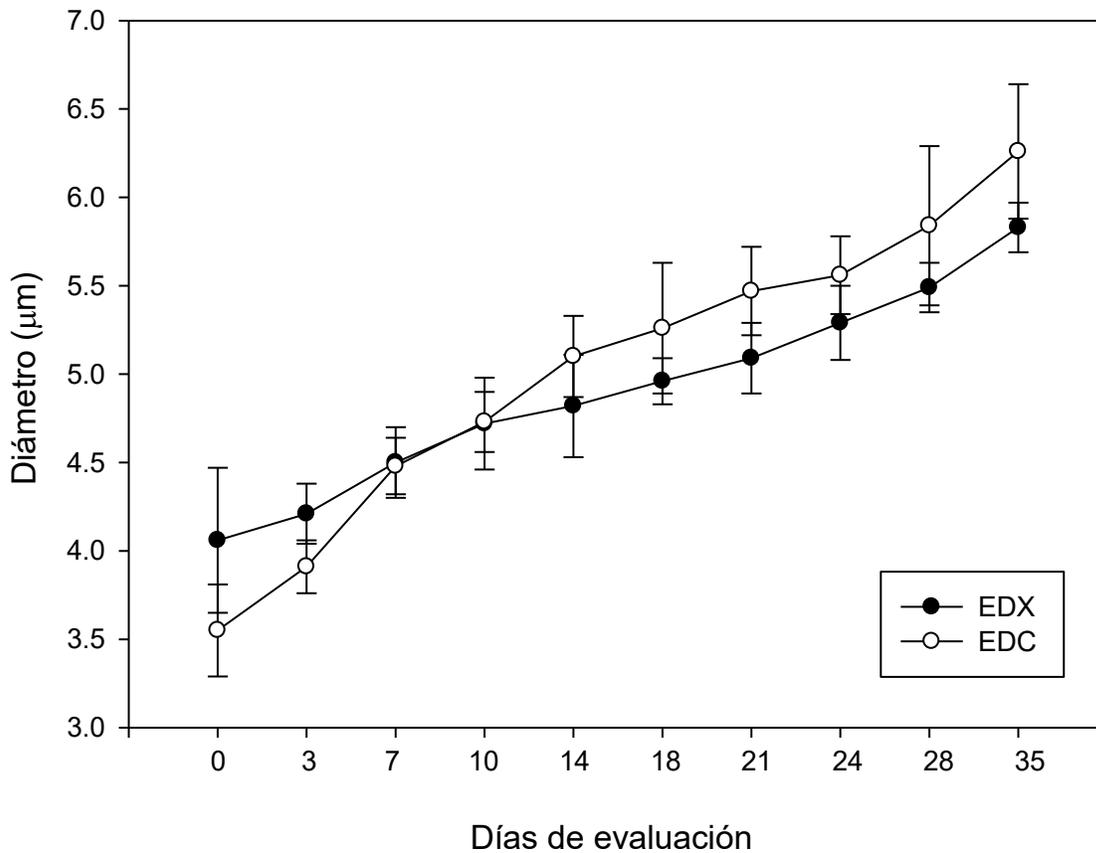


Figura 12. Evolución del diámetro de gota de las emulsiones dobles. EDX: emulsión doble con filtrado de xoconostle encapsulado, EDC: emulsión doble control con agua destilada encapsulada.

8.1.5 Contenido de fenoles totales en la emulsión doble con filtrado de xoconostle

En la tabla 6, se muestran los resultados obtenidos en la evaluación del contenido de fenoles totales de la emulsión con filtrado de xoconostle encapsulado, durante 35 días de evaluación. Esta prueba estuvo principalmente influenciada por el tiempo de almacenaje, se encontraron diferencias significativas entre los días de evaluación de la emulsión ($P < 0.05$). Como puede observarse en la tabla 6, el contenido de estos compuestos mostró una tendencia a disminuir respecto al tiempo. El día 1 de evaluación la emulsión mostró un contenido de 107.63 ± 1.09 mg EAG/100 ml de emulsión, posteriormente para el día 3, se observó una disminución en la concentración con un contenido correspondiente a 88.00 ± 2.54 mg EAG/100 ml de emulsión. A partir del día 3 al día 14 de evaluación se inició un periodo de relativa estabilidad, esto debido a que en este tiempo se encontró una ligera disminución de 88.00 ± 2.54 a 81.81 ± 1.45 mg EAG/100 ml de emulsión, diferencias numéricas, aunque estadísticamente estas fueron poco notables. Finalmente, pudo observarse un segundo periodo de estabilidad correspondiente del día 18 al día 35 de evaluación, durante este tiempo se encontró una ligera disminución que fue de 77.45 ± 0.72 a 70.90 ± 2.18 mg EAG/100 ml de emulsión respectivamente. A pesar de las diferencias numéricas exhibidas en este conjunto de días, se pudieron observar nuevamente pocas diferencias estadísticas entre los días correspondientes a este periodo de evaluación. Como pudo observarse, a pesar de que los primeros días de evaluación se observó una baja notable en la concentración de fenoles, el sistema logró una estabilidad para posteriormente exhibir una disminución gradual en el contenido de estos compuestos, logrando conservar al día final de evaluación aproximadamente un 65.87% del contenido inicial de fenoles totales, después de 35 días de almacenaje.

Los resultados de esta prueba están respaldados por el comportamiento exhibido por el filtrado de xoconostle en la evaluación de compuestos fenólicos totales, donde se reportó un contenido de 235.32 ± 1.18 mg EAG/100 g de fruto, a estos resultados encontrados en el filtrado de xoconostle se puede atribuir la concentración de fenoles totales encontrados en la emulsión. Por otra parte, el rendimiento mostrado

por la emulsión en esta prueba también va de la mano con lo reportado en la prueba de diámetro de gota de la emulsión, el cual mostró muy ligeras modificaciones respecto al tiempo de almacenaje, como se explica en esa sección este parámetro es de gran importancia en la estabilidad del sistema, así como del material encapsulado.

Pimentel *et al.* (2015) , elaboraron distintas formulaciones de ED. De acuerdo a sus propiedades se seleccionó una (aceite de canola como fase lipídica, Goma Arábica 17%, Goma de Mesquite 66% y Maltodextrina 17% como emulgentes hidrófilos de la fase acuosa externa) para encapsular una solución comercial de polifenoles de uva para su incorporación a un queso tipo Chihuahua, en dicho trabajo no se reportaron contenidos exactos, solo se muestra un gráfico que exhibe el comportamiento de la concentración de fenoles en la emulsión respecto al tiempo, el valor que si se reportó es el porcentaje de fenoles que se conservó después del periodo de almacenaje, el cual correspondió a 97.4%, superior al reportado anteriormente en el presente trabajo. Las diferencias encontradas entre los trabajos comparados pueden atribuirse a las diferentes formulaciones de las ED, por otra parte, los polifenoles encapsulados para incorporar en el queso, ya son un producto comercial estandarizado, a diferencia del presente trabajo donde se incorporó filtrado natural recién extraído del fruto. Una de las principales ventajas del uso de emulsiones dobles en la encapsulación de compuestos lábiles, es la liberación de compuestos lipídicos bioactivos así como la encapsulación, protección y liberación controlada de compuestos hidrófilos (Jiménez-Colmenero, 2013b), dichas características fueron exhibidas en la evaluación de la ED diseñada en el presente trabajo.

8.1.6 Contenido de compuestos flavonoides en la emulsión doble con filtrado de xoconostle

En la tabla 6 se encuentran los resultados obtenidos del monitoreo de la concentración de flavonoides en la emulsión con filtrado de xoconostle encapsulado. Se encontraron diferencias significativas entre los días de evaluación ($P < 0.05$). Al día 1, el contenido de flavonoides en la emulsión correspondió a 74.04 ± 0.82 mg EQ/100 ml de emulsión, posteriormente al día 3 se exhibió una baja

RESULTADOS Y DISCUSIONES

notable en la concentración de estos compuestos, en dicho día se reportó un contenido de 56.42 ± 4.94 mg EQ/100 ml de emulsión, de igual forma para el día 7 aunque menor, volvió a exhibirse una baja marcada, encontrando en este día una concentración de 49.28 ± 1.42 mg EQ/100 ml de emulsión, posteriormente al día 10 se exhibió una baja similar. Finalmente, a partir del día 14 comenzó un periodo de relativa estabilidad que se extendió hasta el día 35 (día final) de evaluación, debido a que en este periodo de 21 días se presentó una disminución de 38.33 ± 3.59 a 30.71 ± 1.42 mg EQ/100 ml de emulsión (valores de los días 14 y 35 respectivamente), una reducción casi 4 veces menor a la exhibida los primeros 14 días de la prueba.

Los contenidos de flavonoides en la emulsión están respaldados por los resultados obtenidos en la evaluación del contenido de estos compuestos en el filtrado del fruto de xoconostle, que posteriormente se encapsuló en la emulsión. De igual forma, lo reportado en las mediciones del diámetro de gota de la emulsión, se estima también pueda estar relacionado con la estabilidad alcanzada en la segunda parte de este experimento. Los flavonoides, compuestos de 2 anillos aromáticos vinculados a través de un oxígeno heterocíclico y dependiente del grado de hidrogenación y la sustitución del heterociclo, pueden ser clasificados en distintos grupos (Gutiérrez-Grijalva *et al.*, 2016). Los flavonoides actúan como antioxidantes, los cuales marcadamente retardan o previenen la oxidación de un sustrato, estos compuestos son altamente correlacionados con la actividad antioxidante. El consumo del fruto de xoconostle puede contribuir al aumento en la cantidad de este tipo de antioxidantes naturales en la dieta (Morales *et al.*, 2012). Los flavonoides eliminan radicales libres y de igual forma presentan actividad quelante hacia los metales (Fe^{2+} , Fe^{3+} , y Cu^{2+}) (Yogesh Kumar *et al.*, 2015).

Existe escasa información de la encapsulación de flavonoides en ED donde se evalúe su comportamiento respecto al tiempo Akhtar *et al.* (2014), encapsularon flavonoides en una emulsión doble elaborada por la tecnología de reactor de disco giratorio, después de 10 días, se evaluó la eficiencia de encapsulación de flavonoides por una técnica diferente a la reportada en el presente trabajo, sin

RESULTADOS Y DISCUSIONES

embargo, a dicho día se reportaron porcentajes de eficiencia de encapsulación de flavonoides de 80 y 72 %, aunque con técnicas diferentes, al mismo día (10) de evaluación en el presente trabajo se encontró un 60.12% de los mg EQ/100 ml de emulsión iniciales. Las propiedades de encapsulación de la ED diseñada en este trabajo permitió continuar evaluando el contenido de estos compuestos hasta el día final de evaluación (35), triplicando el tiempo del trabajo citado.

Tabla 6. Evolución de los contenidos de fenoles totales y flavonoides en la ED con filtrado de xoconostle encapsulado EDX.

	Día 1	Día 3	Día 7	Día 10	Día 14	Día 18	Día 21	Día 24	Día 28	Día 35
Fenoles mg EAG/100 ml	107.63 ± 1.09 ^A	88.00 ± 2.54 ^B	87.39 ± 2.93 ^{BC}	82.90 ± 1.81 ^{CD}	81.81 ± 1.45 ^{DE}	77.45 ± 0.72 ^{EF}	75.51 ± 0.41 ^{FG}	75.27 ± 0.72 ^{FG}	73.33 ± 1.11 ^{FG}	70.90 ± 2.18 ^G
Flavonoi des mg EQ/100 ml	74.04 ± 0.82 ^A	56.42 ± 4.94 ^B	49.28 ± 1.42 ^C	44.52 ± 0.82 ^{CD}	38.33 ± 3.59 ^{DE}	36.90 ± 2.18 ^{EF}	35.00 ± 1.42 ^{EF}	34.04 ± 2.18 ^{EF}	32.14 ± 1.42 ^{EF}	30.71 ± 1.42 ^F

Los resultados se expresaron en medias ± desviación estándar. Las letras mayúsculas diferentes en superíndice indican diferencias significativas en cada prueba respecto al tiempo (fila) (P<0.05). mg EAG/100 ml: miligramos equivalentes de ácido gálico por cada 100 ml de emulsión, mg EQ/100 ml: miligramos equivalentes de Quercetina por cada 100 ml de emulsión.

8.1.7 Capacidad antioxidante de las emulsiones dobles por el método ABTS

El comportamiento de las emulsiones en la prueba ABTS, se encuentra representado en la figura 13, donde puede observarse la tendencia de la capacidad antioxidante de la emulsión con filtrado de xoconostle encapsulado (EDX) y el tratamiento control con agua destilada encapsulada (EDC). Esta prueba estuvo principalmente influenciada por el tipo de material encapsulado, así como por el tiempo de almacenaje. Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, así como entre los días de almacenaje ($P < 0.05$).

Como se observa en la figura 13, la capacidad antioxidante de la emulsión con filtrado de xoconostle encapsulado (EDX) fue superior en todo momento a la del tratamiento control (EDC), se puede observar de forma clara que la tendencia de esta en ambas emulsiones fue a la baja conforme avanzó el tiempo de almacenaje. El tratamiento con filtrado de xoconostle encapsulado mostró al día 1 un porcentaje de inhibición de radical de $34.47 \pm 0.21\%$, a partir de este día al día 7 se encontraron las bajas más notables de este tratamiento en la prueba, puesto que en el día 3 de evaluación se exhibió un porcentaje de inhibición del $31.09 \pm 0.08\%$, posteriormente se encontró otra baja similar al día 7 donde el porcentaje de inhibición de radical bajó a $28.64 \pm 0.35\%$. A partir del día 7 se observó un periodo de relativa estabilidad que culminó el día 21 de evaluación, donde se encontró un porcentaje de inhibición de radical correspondiente a $24.92 \pm 0.64\%$, una menor disminución del porcentaje de inhibición de radical que el exhibido los primeros 7 días y en un periodo mayor de tiempo. Finalmente se observó un segundo periodo de estabilidad del día 21 ($24.92 \pm 0.64\%$ de inhibición de radical) al día final de evaluación (día 35), donde se observó un porcentaje de inhibición de radical final correspondiente a $20.42 \pm 0.14\%$, en este segundo periodo de 14 días que comprendió del día 21 al día 35, se encontró una disminución del porcentaje de inhibición de radical similar a la exhibida en el periodo del día 7 al día 21. Como pudo observarse la mayor parte del tiempo de almacenaje, la disminución de la capacidad antioxidante ocurrió de forma gradual, sin bajas repentinas, al día final de evaluación en el tratamiento con filtrado

RESULTADOS Y DISCUSIONES

de xoconostle se logró conservar un 59.23% de la capacidad antioxidante inicial en la emulsión con filtrado del fruto encapsulado.

Los resultados obtenidos en esta prueba están respaldados por lo reportado en la evaluación del contenido de compuestos fenólicos y flavonoides, tanto en el filtrado de xoconostle, así como en la emulsión doble con filtrado encapsulado (EDX), además de los buenos resultados en la prueba de capacidad antioxidante ABTS del filtrado del fruto. En secciones anteriores se ha hecho mención de la importancia y los mecanismos de acción antioxidante de los compuestos fenólicos, a dichos compuestos se atribuye la capacidad antioxidante del tratamiento con xoconostle encapsulado.

Pimentel *et al.* (2015), encapsularon una solución comercial de polifenoles de uva en una formulación de ED seleccionada de entre varias diseñadas. Dicha emulsión estuvo constituida por aceite de canola como fase lipídica, así como goma arábiga, goma de mezquite y maltodextrina como emulgentes hidrófilos en la fase acuosa externa. Similar al presente trabajo, Pimentel y colaboradores reportaron un buen rendimiento en la capacidad antioxidante de los compuestos encapsulados en ED durante 45 días. Cabe aclarar que en el trabajo citado no existieron diferencias significativas en la capacidad antioxidante por el método ABTS de los compuestos encapsulados en ED y los compuestos evaluados sin encapsular durante 45 días. Lo anterior puede hablar de que al ser la solución de polifenoles de uva un producto comercial estandarizado, estos pudieron presentar una buena estabilidad de la capacidad antioxidante aun sin ser encapsulados para su protección. A diferencia del presente trabajo donde se encapsuló filtrado recién extraído del fruto.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

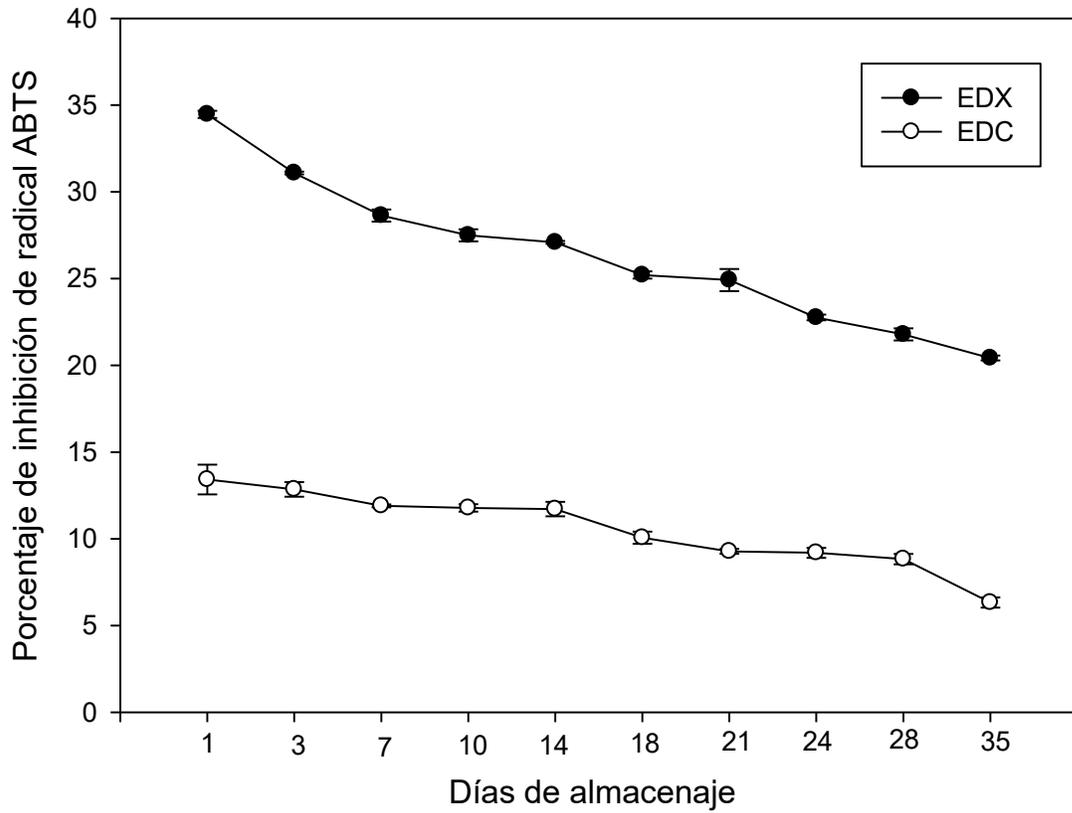


Figura 13. Comportamiento de las emulsiones en la prueba de inhibición de radical ABTS durante el periodo del experimento. EDX: emulsión doble con filtrado de xoconostle, EDC: emulsión doble control con agua destilada.

8.1.8 Capacidad antioxidante de las emulsiones dobles por el método DPPH

El comportamiento de las emulsiones en la prueba DPPH, se encuentra representado en la figura 14, donde puede observarse de forma clara la tendencia de la capacidad antioxidante de las emulsiones con filtrado de xoconostle encapsulado (EDX) y el tratamiento control con agua destilada encapsulada (EDC). Esta prueba estuvo principalmente influenciada por el tipo de material encapsulado, así como por el tiempo de almacenaje, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, así como entre los días de evaluación ($P < 0.05$).

Como puede observarse en la figura 14, la capacidad antioxidante de la emulsión donde se encapsuló filtrado de xoconostle (EDX) fue superior en todo momento a la del tratamiento control (EDC). La tendencia de ambos tratamientos durante el experimento fue a la baja. En el día 1 la emulsión con xoconostle (EDX) exhibió un porcentaje de inhibición de radical correspondiente a $50.33 \pm 0.08\%$, consecuentemente al día 3, dicho tratamiento mostró una notable disminución, pues para dicho día se encontró un porcentaje de inhibición de radical de $28.57 \pm 0.71\%$, posteriormente en el periodo del día 7 al día 10 volvió a exhibirse una baja notable en la capacidad antioxidante con porcentajes de inhibición de radical de 27.00 ± 0.42 a $21.64 \pm 0.50\%$ para los días 7 y 10 respectivamente. A partir del día 10, se encontró un periodo de relativa estabilidad que se extendió hasta el día 24, en dicho periodo de 14 días el porcentaje de inhibición de radical disminuyó de 21.64 ± 0.50 a $19.07 \pm 0.50\%$, en este periodo se encontraron algunas similitudes estadísticas. Finalmente, del día 24 al 35 volvió a describirse una disminución más marcada, el tratamiento EDX finalizó la prueba con un porcentaje de inhibición de radical correspondiente a $13.57 \pm 0.71\%$ después de 35 días de almacenaje. Al día final de la prueba, el tratamiento EDX logró conservar un 26.96% de la capacidad antioxidante inicial exhibida en el día 1. Por otra parte, el tratamiento control no exhibió disminuciones repentinas, y como se ha mencionado anteriormente durante toda la prueba mostró porcentajes de inhibición muy bajos.

La elevada capacidad antioxidante inicial, así como el porcentaje de inhibición de radical mayor respecto al tratamiento control, se pueden atribuir a los resultados

RESULTADOS Y DISCUSIONES

exhibidos por el filtrado de xoconostle en las pruebas de concentración de compuestos fenólicos totales, flavonoides y posteriormente en las pruebas de capacidad antioxidante ABTS y DPPH. De igual forma la emulsión doble con filtrado de xoconostle encapsulado mostró buenos resultados en las pruebas de concentración de compuestos fenólicos, y por lo tanto de compuestos flavonoides, como se ha argumentado anteriormente. La tendencia mostrada por la emulsión EDX para la inhibición de radical en la prueba DPPH fue comparable a la tendencia exhibida por esta misma cuando se evaluó la concentración de compuestos fenólicos totales, al mostrar en los primeros días de almacenaje una disminución más marcada, para posteriormente mostrar un periodo de estabilidad, así como una ligera baja en los días finales de evaluación.

Los resultados encontrados en el presente trabajo son comparables a lo reportado por Cofrades *et al.* (2014), donde se elaboró una emulsión doble, para lo cual se utilizó PGPR como emulgente lipófilo, aceite de chía como fase lipídica y caseinato de sodio como emulgente hidrófilo de la fase acuosa externa. En la emulsión se encapsuló hydroxytyrosol (compuesto antioxidante), para posteriormente incorporar la ED a un producto cárnico emulsionado sustituyendo la grasa animal y se evaluó su efecto en la capacidad antioxidante y estabilidad oxidativa de dicho cárnico. A la emulsión doble de igual forma se evaluó la capacidad antioxidante mediante la medición del porcentaje de inhibición de radical DPPH durante un periodo de 10 días. La tendencia exhibida en el trabajo citado mostró un aumento del porcentaje de inhibición de radical del día 1 al día 3 (20.32 a 46.76%) para posteriormente exhibir una caída notable para los días 7 y 10 (0.86 y 1.17% de inhibición de radical respectivamente) finalizando la prueba con una actividad antioxidante casi nula. Las tendencias de la capacidad antioxidante de la emulsión diseñada por Cofrades y colaboradores y la diseñada en el presente trabajo, son un tanto parecidas, al mostrar porcentajes muy altos los primeros días para después disminuir, sin embargo, cabe resaltar aspectos positivos del trabajo aquí reportado, como el hecho de que la tendencia aquí reportada es igual durante todo el experimento, además de que el tiempo de evaluación aquí reportado (35 días) triplicó al tiempo de evaluación de Cofrades y colaboradores (10 días), a pesar de lo anterior la emulsión

RESULTADOS Y DISCUSIONES

doble aquí diseñada logró conservar un 26.96% del porcentaje de inhibición de radical inicial, superior al 5.75% conservado por Cofrades y colaboradores. Las diferencias encontradas en ambos trabajos pueden atribuirse a las diferencias en las formulaciones de las emulsiones dobles, así como a los materiales encapsulados en cada trabajo.

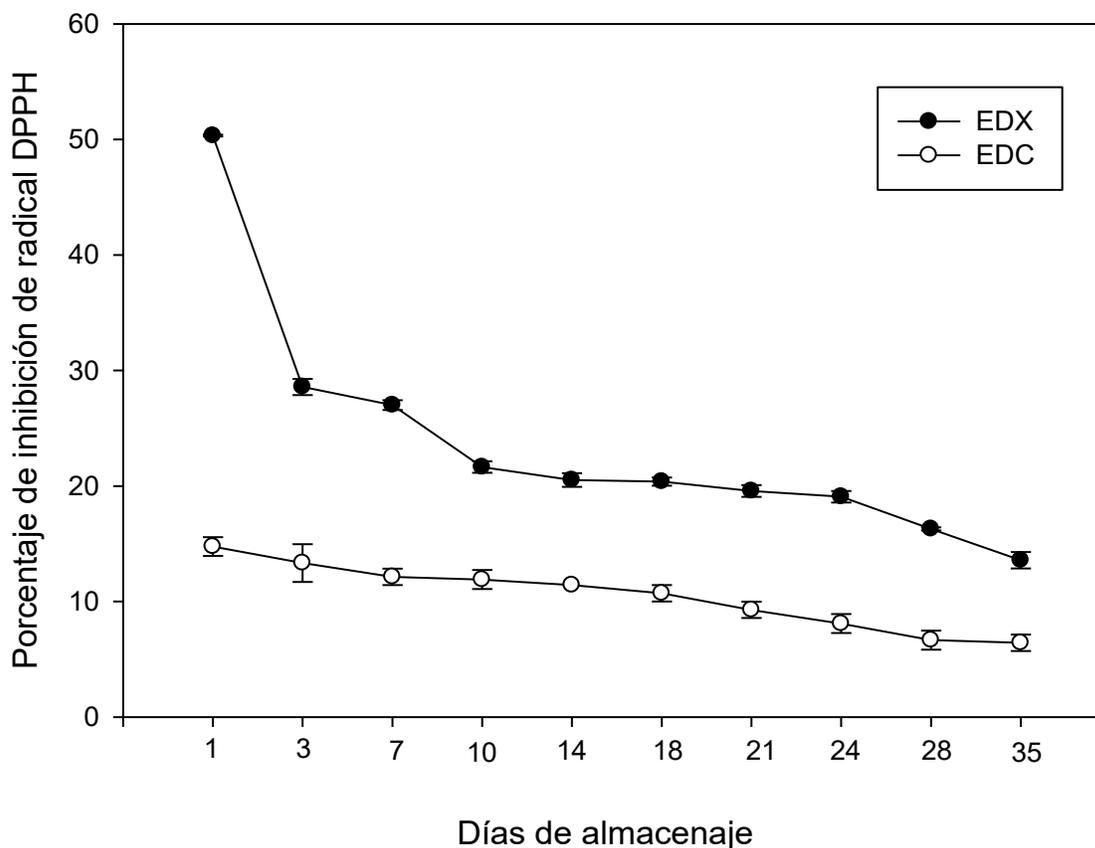


Figura 14. Comportamiento de las emulsiones en la prueba de inhibición de radical DPPH durante el periodo del experimento. EDX: emulsión doble con filtrado de xoconostle encapsulado, EDC: emulsión doble control, con agua encapsulada.

8.2 Etapa 2: evaluación fisicoquímica de los productos cárnicos reformulados con emulsión doble

8.2.1 Pruebas proximales de los productos cárnicos

En la tabla 7 se muestran los resultados de los análisis proximales de los distintos tratamientos. Las pruebas proximales se vieron afectadas principalmente por la presencia o ausencia de ED en los productos cárnicos.

8.2.1.1 Contenido de humedad

Se encontraron diferencias significativas en el contenido de humedad de los diferentes productos cárnicos ($P < 0.05$). Los resultados obtenidos en esta prueba fueron afectados principalmente por la presencia o ausencia de emulsión en cada formulación. Todos los tratamientos reformulados con emulsión mostraron mayores contenidos de humedad respecto al control, los contenidos en dicho parámetro fueron inversamente proporcionales al contenido de emulsión en los productos reformulados. Con base en la analogía anterior, el tratamiento con ED al 5% mostró el mayor contenido de humedad de toda la prueba con un porcentaje correspondiente a $76.75 \pm 0.30\%$, dentro de los tratamientos reformulados, el producto cárnico con ED al 30% mostró el menor contenido de humedad de los productos con ED con un contenido de $65.25 \pm 0.50\%$, finalmente, el tratamiento control exhibió el menor contenido de humedad de toda la prueba con un porcentaje correspondiente a $58.37 \pm 0.51\%$. Los contenidos superiores en el parámetro de humedad encontrados en las reformulaciones con ED, pueden explicarse por la sustitución de la grasa animal por la emulsión, la ED al estar constituida de 2 fases acuosas aporta agua al producto cárnico, por otra parte, otro factor a resaltar es el agua añadida de forma intencional en el hielo incorporado para regular la temperatura, así como para cubrir las variaciones en la incorporación de diferentes porcentajes de ED en los productos cárnicos (tabla 3 de la sección 7.2), la adición de hielo fue mayor conforme el contenido de emulsión fue menor en las formulaciones. Lo anterior explica porque el contenido de humedad fue inversamente proporcional al de emulsión. Cofrades *et al.* (2013) incorporaron 2 formulaciones de emulsión doble en productos cárnicos emulsionados para evaluar

los efectos en composición y estabilidad en dichos productos. En el trabajo citado ocurrió un efecto similar al reportado en el presente trabajo, de igual forma se dio una explicación similar a la aquí reportada cuando se presentó este fenómeno.

8.2.1.2 Contenido de proteína

Se encontraron diferencias significativas en el contenido de proteína de los diferentes productos cárnicos ($P < 0.05$). Este parámetro se vio directamente afectado por la presencia o ausencia de ED, así como la cantidad de esta en las formulaciones. En general todos los tratamientos reformulados con ED mostraron mayores contenidos de proteína respecto al control, dentro de los productos reformulados con ED, el contenido en este parámetro fue proporcional al porcentaje de emulsión incorporada en cada tratamiento. El producto cárnico que mostró el mayor contenido de proteína de toda la prueba fue el producto con ED al 30%, el cual exhibió un contenido de $23.17 \pm 0.08\%$, por otra parte, el tratamiento reformulado con el menor contenido de proteína fue el producto cárnico con ED al 5%, con un porcentaje correspondiente a $17.17 \pm 0.11\%$, finalmente, el tratamiento con el menor contenido en este parámetro de toda la prueba fue producto cárnico control, quien mostró un porcentaje del $16.82 \pm 0.06\%$. Los mayores porcentajes de proteína encontrados en los productos reformulados con ED se pueden explicar por la composición de esta misma, recordemos que la formulación de la fase acuosa externa estuvo conformada por aislado proteico de suero de leche (emulgente hidrófilo de la fase acuosa externa). Lo anterior explica los mayores porcentajes de proteína en los productos reformulados con ED, así como la proporcionalidad entre la emulsión y el aumento en el contenido de proteína de los productos reformulados. Un efecto comparable se exhibió en lo reportado por Serdaroglu *et al.* (2016), en este trabajo se encontró un aumento en el contenido de proteína de productos cárnicos emulsionados reformulados con ED en diferentes porcentajes, dicho aumento en este parámetro fue proporcional al porcentaje de ED incorporado en los productos. En dicho trabajo se atribuye este comportamiento al uso de caseinato de sodio para la elaboración de la fase acuosa externa de la emulsión.

8.2.1.3 Contenido de grasa

Se encontraron diferencias significativas en el contenido de grasa de los diferentes tratamientos ($P < 0.05$). Este parámetro fue probablemente el más afectado por la incorporación de la ED en los productos cárnicos reformulados. El contenido de grasa se vio afectado por el tipo y cantidad de fuente lipídica (emulsión o grasa animal) incorporada en los productos cárnicos. A diferencia de los 2 parámetros anteriormente descritos, el contenido de grasa más alto de toda la prueba se exhibió en el producto cárnico control con grasa animal, dicho contenido correspondió a $21.86 \pm 0.00\%$. Por otra parte, dentro de los productos cárnicos reformulados con ED, el contenido de grasa fue proporcional al porcentaje de emulsión, siendo el producto cárnico con ED al 30% en su formulación el cual exhibió un contenido de $7.81 \pm 0.06\%$ de grasa, el mayor dentro de los productos reformulados, casi una tercera parte del contenido del tratamiento control. De diferente forma el tratamiento que exhibió el menor contenido de grasa de toda la prueba fue el producto cárnico con ED al 5% de su formulación, quien mostró un contenido de $2.09 \pm 0.09\%$ de grasa. El comportamiento de los productos reformulados con ED se puede atribuir al hecho de que, al sustituir la grasa animal por la ED, en la formulación de esta última se encontraron componentes como el aislado proteico, así como los altos contenidos de agua y en menor cantidad el aceite de canola, por lo tanto, se obtuvieron productos con un menor contenido de grasa. Lo anterior es respaldado también por los resultados obtenidos en las pruebas de humedad y proteína de los productos cárnicos, el aumento en los parámetros anteriormente mencionados compensa la disminución en el contenido de grasa en los tratamientos con ED. Freire *et al.* (2016) reportaron un efecto similar, en dicho trabajo se incorporó una ED formalmente en salchichas tipo Frankfurt sustituyendo la grasa animal en diferentes modalidades para evaluar su efecto en la composición del producto, en dicho trabajo se sugiere una explicación similar a la anteriormente descrita.

8.2.1.4 Contenido de cenizas

Se encontraron diferencias significativas entre los contenidos de cenizas de los distintos productos cárnicos ($P < 0.05$). Este parámetro se vio afectado por el tipo y cantidad de fuente lipídica incorporada en los productos cárnicos, todos los

tratamientos cárnicos reformulados con ED mostraron mayores contenidos de cenizas respecto al tratamiento control, el cual mostró un contenido de $1.94 \pm 0.01\%$, por otra parte, dentro de los productos reformulados con ED, los 2 tratamientos que exhibieron los menores contenidos de cenizas (2.13 ± 0.02 y $2.15 \pm 0.02\%$) fueron los tratamientos con 10 y 5% de ED en su formulación, entre los cuales no se exhibieron diferencias significativas. Finalmente, el producto cárnico con ED al 30% fue el cual mostró los mayores contenidos de cenizas de toda la prueba con un porcentaje correspondiente a $2.38 \pm 0.01\%$.

Tabla 7. Resultados de los análisis proximales de los productos cárnicos elaborados.

	Humedad %	Proteína %	Grasa %	Cenizas %
Control	58.37 ± 0.51^a	16.82 ± 0.06^a	21.86 ± 0.00^a	1.94 ± 0.01^a
PCED 5%	76.75 ± 0.30^e	17.17 ± 0.11^b	2.09 ± 0.09^e	2.15 ± 0.02^b
PCED 10%	73.84 ± 0.09^d	18.93 ± 0.07^c	3.98 ± 0.00^d	2.13 ± 0.02^b
PCED 20%	68.82 ± 0.19^c	21.28 ± 0.02^d	6.37 ± 0.10^c	2.24 ± 0.05^c
PCED 30%	65.25 ± 0.50^b	23.17 ± 0.08^e	7.81 ± 0.06^b	2.38 ± 0.01^d

Los resultados se expresaron en medias \pm desviación estándar. Las letras en superíndice diferentes expresan diferencias significativas entre los tratamientos, cada columna es un parámetro diferente evaluado ($P < 0.05$). Control: producto cárnico con grasa animal 20%, PCED 30%: producto cárnico con 30% ED en su formulación, PCED 20%: producto cárnico con 20% emulsión doble en su formulación, PCED 10%: producto cárnico con 10% emulsión doble en su formulación, PCED 5%: producto cárnico con 5% emulsión doble en su formulación.

8.2.2 pH de los productos cárnicos reformulados

Se encontraron diferencias significativas entre los valores de pH de los tratamientos elaborados ($P < 0.05$), este experimento se vio afectado principalmente por el tipo y cantidad de fuente lipídica (emulsión o grasa animal), así como por el tiempo de almacenaje. Los resultados para el parámetro pH se muestran en la tabla 8. Como puede observarse, en general la tendencia de este parámetro fue a la baja, con un ligero aumento en el día 7 en el tratamiento control, y los productos reformulados con 5% y 10% ED en su formulación, en general los valores en este parámetro aumentaron conforme el contenido de ED disminuyó en las reformulaciones, salvo

RESULTADOS Y DISCUSIONES

para el tratamiento con ED al 5%, se estima que este efecto puede deberse a que este tratamiento fue el punto de inflexión entre el menor contenido de emulsión en las reformulaciones y la interacción con un mayor contenido de agua.

Todos los tratamientos reformulados con ED mostraron una mejor estabilidad en este parámetro, al encontrar en estos una menor variación durante los 35 días de almacenaje respecto al control. El tratamiento más estable de toda la prueba fue el producto cárnico con 20% ED, ya que durante toda la prueba este tratamiento siempre mostró la misma tendencia uniforme a disminuir, diferente del resto de tratamientos, este producto inició la prueba con un valor de 6.18 ± 0.01 , y finalizó después de 35 días de almacenaje con un valor de 6.06 ± 0.00 sin mostrar aumentos abruptos como otros tratamientos. Cabe resaltar de igual forma el comportamiento del tratamiento con ED al 30%, el cual mostró una tendencia muy parecida al tratamiento descrito anteriormente iniciando la prueba con un valor de pH de 6.14 ± 0.00 , como puede observarse en la tabla, la tendencia de este producto también fue a la baja, presentando únicamente un comportamiento anormal en el periodo del día 7 al día 14 donde se salió un poco de la tendencia mostrada, al exhibir un ligero aumento de 6.09 ± 0.00 a 6.11 ± 0.00 en el periodo antes mencionado, posteriormente dicho tratamiento retomó la tendencia de disminución terminando la prueba con un valor de pH de 6.01 ± 0.02 al día 35, con uno de los menores decrementos de toda la prueba. Dentro de los productos reformulados, se estimaron como los tratamientos menos estables a los cárnicos con 5 y 10% ED, debido esto a que en el día 7 de evaluación ambos tratamientos mostraron un aumento notable en este parámetro, posteriormente retomaron una tendencia a disminuir los posteriores días de evaluación. Finalmente, el producto control se describió como el tratamiento menos estable de toda la prueba, dicho tratamiento inició la prueba con un valor de pH de 6.25 ± 0.01 , posteriormente al día 7 de evaluación exhibió un incremento de 0.12 (el mayor incremento mostrado en toda la prueba), para posteriormente ir a la baja finalizando la prueba con un valor de pH de 6.04 ± 0.00 en el día 35 de evaluación.

Tabla 8. Valores de pH de los productos cárnicos emulsionados respecto al tiempo.

	Día 1	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35
Control	6.25 ± 0.01 ^{cC}	6.37 ± 0.01 ^{eA}	6.31 ± 0.00 ^{dB}	6.11 ± 0.00 ^{bcD}	6.08 ± 0.01 ^{bE}	6.04 ± 0.00 ^{bF}
PCED 5%	6.15 ± 0.00 ^{aB}	6.21 ± 0.01 ^{cA}	6.15 ± 0.00 ^{bB}	6.13 ± 0.01 ^{cC}	6.10 ± 0.00 ^{cD}	6.11 ± 0.00 ^{cD}
PCED 10%	6.22 ± 0.00 ^{cB}	6.28 ± 0.00 ^{dA}	6.27 ± 0.00 ^{cA}	6.27 ± 0.00 ^{dA}	6.20 ± 0.00 ^{dC}	6.13 ± 0.01 ^{cD}
PCED 20%	6.18 ± 0.01 ^{bA}	6.13 ± 0.00 ^{bB}	6.11 ± 0.00 ^{aBC}	6.10 ± 0.01 ^{bCD}	6.08 ± 0.01 ^{bDE}	6.06 ± 0.00 ^{bE}
PCED 30%	6.14 ± 0.00 ^{aA}	6.09 ± 0.00 ^{aB}	6.11 ± 0.00 ^{aAB}	6.06 ± 0.00 ^{aC}	6.03 ± 0.00 ^{aD}	6.01 ± 0.02 ^{aD}

Los resultados se expresaron en medias ± desviación estándar. Las letras minúsculas diferentes en superíndice, indican diferencias significativas entre los tratamientos (columna), las letras mayúsculas diferentes, indican diferencias significativas en cada tratamiento respecto al tiempo (fila) (P<0.05). Control: producto cárnico control con grasa animal al 20%, PCED 5%: producto cárnico con emulsión doble al 5% de su formulación, PCED 10%: producto cárnico con emulsión doble al 10% de su formulación, PCED 20%: producto cárnico con emulsión doble al 20% de su formulación, PCED 30%: producto cárnico con emulsión doble al 30% de su formulación.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Como se ha descrito anteriormente los productos cárnicos con ED al 20 y 30% se estimaron como los tratamientos más estables en este parámetro (pH), de igual manera estos tratamientos son los que en su formulación contuvieron mayor cantidad de ED. El efecto de mayor estabilidad en este parámetro mostrado por los productos cárnicos con ED, principalmente en los tratamientos con más emulsión en su formulación, puede deberse a las propiedades funcionales que aporta la adición del aislado proteico de suero de leche en la emulsión, se ha reportado en pruebas de funcionalidad en productos de este tipo, como el concentrado y aislado de proteína de suero de leche, además de sus propiedades emulgentes la capacidad de amortiguación hablando en términos de pH como lo reporta Morr *et al.* (1993).

Existe escasa información del efecto en el pH de productos cárnicos reformulados con ED evaluados respecto a un periodo de tiempo, sin embargo, Serdaroglu *et al.* (2016), realizaron la incorporación de una emulsión doble en sistemas cárnicos emulsionados, con el fin de sustituir la grasa animal, de igual forma la incorporación se realizó en distintos porcentajes en las reformulaciones con un 10, 20 y 30% de ED en los productos, así como un control con grasa animal. En el trabajo citado se exhibió el mismo efecto que se reportó en el presente trabajo, donde todas las reformulaciones con emulsión mostraron un pH más cercano a 6 que el tratamiento control y este parámetro disminuyó conforme el contenido de emulsión aumentó en las formulaciones, en dicho trabajo se reportaron valores de pH correspondientes a 6.15, 6.10 y 6.05 para los tratamientos con 10, 20 y 30% emulsión en su formulación, similar al efecto encontrado en este trabajo.

8.2.3 Análisis de perfil de textura

En la tabla 9 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de análisis de perfil de textura, la prueba estuvo principalmente influenciada por el tipo (emulsión doble o grasa animal) y cantidad de fuente lipídica incorporada a los productos cárnicos, así como por el tiempo de almacenaje.

8.2.3.1 Dureza

Respecto al parámetro de dureza, se encontraron diferencias significativas tanto entre los tratamientos, así como entre ellos mismos respecto al tiempo ($P < 0.05$). En general este parámetro fue en aumento en todos los productos cárnicos evaluados, el tratamiento con ED al 30% mostró los mayores valores en este parámetro (salvo el día 1), dicho tratamiento inició la prueba con un valor de 5.96 ± 0.524 N, como se ha mencionado anteriormente la expresión de la dureza en este tratamiento fue en aumento culminando la prueba con un valor de 11.24 ± 0.649 N. El tratamiento que mostró los menores valores de dureza de toda la prueba, fue el producto cárnico con 5% ED, de igual forma el comportamiento de este parámetro en dicho producto fue en aumento respecto al tiempo, sin embargo, en menor grado que el resto de tratamientos, dicho cárnico inició la prueba con un valor de 2.88 ± 0.301 N, posteriormente, al día final de evaluación dicho producto exhibió un valor de 5.29 ± 0.268 N. Por otra parte, el control fue el segundo tratamiento que mostró los mayores valores en este parámetro en casi toda la prueba (salvo día 1), el producto control inició la prueba con un valor de 6.66 ± 0.382 N, el cual aumentó hasta el final de la prueba donde exhibió un valor de 9.33 ± 0.756 N. Cabe destacar el comportamiento del tratamiento con ED al 20%, el cual inició la prueba con un valor de 4.84 ± 0.620 N, este aumentó hasta el día final de evaluación donde exhibió un valor de 8.30 ± 0.848 N, este tratamiento al igual que el producto cárnico con ED al 30%, fueron los únicos en presentar similitudes estadísticas con el tratamiento control. Como se ha observado anteriormente 3 tratamientos reformulados con ED (20, 10 y 5%) presentaron un menor grado de dureza respecto al control.

Freire *et al.* (2016) reportaron un efecto similar en sus productos cárnicos con ED reducidos en grasa, atribuyeron dicho fenómeno a las características de la matriz cárnica formada en cada caso, cuando el contenido de grasa es reducido por el

contenido de humedad, mientras que se mantiene el nivel de proteína, esto lleva a la formación de una matriz proteica menos densa y compacta, una estructura asociada con productos más suaves. Bajo la analogía anterior de igual forma pueden explicarse los mayores valores de dureza del producto cárnico con ED al 30%, como se observó en las pruebas proximales, dicho tratamiento fue el segundo producto cárnico con menor contenido de humedad, por otra parte, también este tratamiento mostró el contenido más notable en proteína, marcando un punto de inflexión entre la relación humedad/proteína, un efecto inverso se presentó en los tratamientos con ED al 5, 10 y 20%. Los resultados encontrados en los productos cárnicos con ED al 20 y 30%, además de ser similares al tratamiento control, son menores, aunque comparables a lo reportado por Eisinaite *et al.* (2017), en dicho trabajo se realizó la encapsulación de jugo de betabel en una emulsión doble elaborada con aislado proteico de suero de leche como emulgente hidrófilo en la fase acuosa externa y aceite de girasol como fase lipídica, dicha formulación se incorporó (al igual que una ED control) en productos cárnico emulsionado (diseñados para contener 7 y 11% ED) con el fin principal de evaluar el efecto en el color del producto cárnico, de igual forma se evaluó el efecto en la textura de los productos elaborados, en dicho trabajo se reportaron valores de dureza comparables a los de los tratamientos con 30 y 20% ED en el presente trabajo, en el trabajo citado los productos cárnicos con la ED control exhibieron valores de 14 N en ambos casos (7 y 11% ED), por otra parte los productos cárnicos donde se encapsuló el jugo de betabel se reportaron valores de 15.7 y 16.7 N para los productos cárnicos con 7 y 11% ED respectivamente.

8.2.3.2 Cohesividad

El parámetro cohesividad por el contrario de la dureza, mostró una tendencia a disminuir en todos los tratamientos respecto al tiempo, se encontraron algunas diferencias significativas entre los tratamientos, así como en su evolución en el tiempo ($P < 0.05$). El tratamiento con ED al 30% fue el cual exhibió los menores valores de este parámetro en toda la prueba, dicho tratamiento inició la prueba con un valor de 0.628 ± 0.004 , posteriormente al día final de evaluación, dicho tratamiento cárnico finalizó la prueba con un valor de 0.579 ± 0.007 . Por el contrario,

el producto cárnico control fue quien mostró los mayores valores en este parámetro, en dicho tratamiento se encontró un valor de 0.669 ± 0.002 en el día 1, este valor disminuyó conforme avanzó el tiempo de la prueba, para finalizar con un valor de 0.641 ± 0.010 . Finalmente, cabe mencionar el comportamiento del producto cárnico con ED al 5%, como puede observarse en la tabla, dicho tratamiento fue el que exhibió un comportamiento similar al mostrado por el tratamiento control, existieron muy pocas diferencias significativas entre estos 2 tratamientos, el producto cárnico con ED al 5% inició la prueba con un valor de 0.684 ± 0.010 , dicho parámetro disminuyó hasta finalizar la prueba con un valor de 0.604 ± 0.009 . En el presente trabajo se encontraron escasas diferencias entre los tratamientos en los parámetros tanto de cohesividad, así como de elasticidad, un efecto similar se reportó por Freire *et al.* (2016), quienes formularon emulsiones dobles, de las cuales la fase lipídica estuvo constituida por aceite de perilla o grasa animal, con el fin de sustituir la grasa animal que se adiciona de forma convencional en salchichas tipo Frankfurt, en el trabajo citado se atribuye este comportamiento de forma parcial al reemplazo de la grasa animal por las formulaciones de ED, los valores para el parámetro de cohesividad reportados en dicho trabajo fueron de 0.690 y 0.676 para los productos cárnicos con emulsiones dobles con aceite de perilla y grasa animal como fases lipídicas y en contenidos reducidos respectivamente, similar a lo reportado en el presente trabajo.

8.2.3.3 Elasticidad

Al igual que el parámetro anteriormente descrito, la elasticidad de los diferentes tratamientos reportados en el presente trabajo exhibió una tendencia a disminuir respecto al paso del tiempo, se encontraron pocas diferencias significativas tanto entre los tratamientos, así como en la evolución de cada uno respecto al tiempo ($P < 0.05$). Debido a lo anterior, es difícil establecer a los tratamientos con valores mayores o menores durante la prueba. Cabe destacar el comportamiento del tratamiento control, dicho producto cárnico inició la prueba con un valor de elasticidad de 3.39 ± 0.018 mm, esta disminuyó hasta el día final de la prueba, donde exhibió un valor de 3.26 ± 0.027 mm. A pesar de que los tratamientos con 20, 10 y 5% ED presentaron similitudes estadísticas con el tratamiento control, fue el

producto con ED al 10% quien además de lo anterior igualmente exhibió gran similitud en los valores numéricos reportados en el tratamiento control, dicho tratamiento con ED inició la prueba con valor de 3.48 ± 0.054 mm, el cual disminuyó hasta el día final de prueba donde se reportó un valor de 3.26 ± 0.028 mm. Finalmente, el producto cárnico con ED al 30% fue quien presentó menor similitud al tratamiento control en toda la prueba.

Los resultados obtenidos en general en este parámetro son menores, pero comparables a lo reportado por Cofrades *et al.* (2013), donde se realizaron 2 formulaciones de ED con aceite de oliva como fase lipídica, así como concentrado de proteína de suero de leche o caseinato de sodio como emulgentes hidrófilos de la fase acuosa externa, las formulaciones antes mencionadas se incorporaron en sistemas cárnicos emulsionados con contenido de grasa normal o reducido, en dicho trabajo se reportaron valores de elasticidad de 7.02 y 7.14 mm, el primero en el producto cárnico con emulsión doble formulada con caseinato de sodio y reducido en grasa, y el segundo para el producto cárnico cuya ED se formuló con concentrado proteico de suero de leche y un contenido de grasa normal.

8.2.3.4 Masticabilidad

Finalmente, el parámetro de masticabilidad de los diferentes tratamientos, al igual que el parámetro de dureza mostró una tendencia en aumento, se encontraron diferencias significativas tanto entre los tratamientos, así como en la evolución de estos mismos respecto al tiempo ($P < 0.05$). Esta prueba estuvo principalmente influenciada por el tipo y cantidad de fuente lipídica en las formulaciones, el comportamiento de los productos cárnicos en este parámetro fue similar al reportado en el parámetro de dureza. El producto que exhibió los mayores valores de masticabilidad, fue el producto cárnico con ED al 30%, el cual inició la prueba con un valor de 15.50 ± 1.27 N x mm, este se mostró en aumento hasta el día final de evaluación donde exhibió un valor correspondiente a 21.96 ± 1.61 N x mm, por otra parte, el tratamiento que exhibió los menores valores de masticabilidad de toda la prueba, fue el producto cárnico con 5% ED, el cual inició la prueba con un valor de 5.48 ± 0.345 N x mm, este fue en aumento hasta finalizar la prueba con un valor correspondiente a 9.43 ± 0.244 N x mm. Finalmente, el tratamiento control fue el

RESULTADOS Y DISCUSIONES

segundo cárnico el cual exhibió los mayores valores en este parámetro, comportamiento similar al reportado en el parámetro de dureza, el producto cárnico control inició la prueba con un valor de 14.79 ± 0.614 N x mm, de igual forma este fue en aumento hasta terminar la prueba con un valor de 18.81 ± 0.502 N x mm. En el presente trabajo, 3 de los 4 tratamientos reformulados con ED mostraron menores valores de masticabilidad respecto al control, un efecto similar se reportó por Serdaroglu *et al.* (2016), en el trabajo citado se incorporó ED en productos cárnicos emulsionados sustituyendo la grasa animal en diferentes porcentajes (10, 20 y 30% ED), los valores reportados presentaron una tendencia inversa a la reportada en el presente trabajo según el contenido de emulsión, sin embargo todos fueron menores al control como 3 de los 4 tratamientos reformulados con ED aquí reportados, Serdaroglu y colaboradores reportaron valores correspondientes a 11.75, 4.04 y 4.39 N x mm para los tratamientos con 10, 20 y 30% ED respectivamente.

No existen reportes de la evaluación del análisis de perfil de textura respecto al tiempo en productos cárnicos donde la grasa animal se sustituyó con ED, debido a esto, las comparaciones se realizaron con valores iniciales reportados en cada trabajo citado.

Tabla 9. Resultados del análisis de perfil de textura de los productos cárnicos reformulados con ED.

	Día	Control	PCED 30%	PCED 20%	PCED 10%	PCED 5%
Dureza (N)	1	6.66 ± 0.382 ^{aA}	5.96 ± 0.524 ^{aA}	4.84 ± 0.620 ^{aB}	3.57 ± 0.227 ^{aC}	2.88 ± 0.301 ^{aC}
	7	6.87 ± 0.401 ^{aB}	7.98 ± 0.177 ^{bA}	5.54 ± 0.281 ^{abC}	4.12 ± 0.387 ^{abD}	3.46 ± 0.337 ^{abD}
	14	7.13 ± 0.560 ^{aB}	8.39 ± 0.352 ^{bcA}	6.11 ± 0.505 ^{abC}	4.49 ± 0.370 ^{bcD}	3.68 ± 0.283 ^{bD}
	21	7.67 ± 0.678 ^{abAB}	8.82 ± 0.942 ^{bcA}	6.67 ± 0.870 ^{bcB}	4.87 ± 0.308 ^{cdC}	4.28 ± 0.158 ^{cC}
	28	8.57 ± 0.281 ^{bcB}	9.58 ± 0.313 ^{cA}	7.51 ± 0.336 ^{cdC}	5.29 ± 0.205 ^{dD}	4.70 ± 0.188 ^{cdD}
	35	9.33 ± 0.756 ^{cB}	11.24 ± 0.649 ^{dA}	8.30 ± 0.848 ^{dB}	6.75 ± 0.245 ^{eC}	5.29 ± 0.268 ^{dD}
Cohesividad	1	0.669 ± 0.002 ^{aBC}	0.628 ± 0.004 ^{aA}	0.668 ± 0.011 ^{aBC}	0.662 ± 0.009 ^{aB}	0.684 ± 0.010 ^{aC}
	7	0.662 ± 0.006 ^{abC}	0.615 ± 0.002 ^{abA}	0.649 ± 0.006 ^{abB}	0.655 ± 0.000 ^{abBC}	0.660 ± 0.004 ^{bC}
	14	0.658 ± 0.011 ^{abcC}	0.610 ± 0.003 ^{bA}	0.640 ± 0.004 ^{bcB}	0.650 ± 0.006 ^{abBC}	0.657 ± 0.005 ^{bC}
	21	0.654 ± 0.003 ^{abcC}	0.606 ± 0.005 ^{bcA}	0.629 ± 0.012 ^{bcdB}	0.647 ± 0.001 ^{bcC}	0.643 ± 0.003 ^{bcBC}
	28	0.648 ± 0.005 ^{bcC}	0.596 ± 0.009 ^{cA}	0.623 ± 0.008 ^{cdB}	0.634 ± 0.006 ^{cBC}	0.636 ± 0.007 ^{cBC}
	35	0.641 ± 0.010 ^{cC}	0.579 ± 0.007 ^{dA}	0.617 ± 0.009 ^{dB}	0.619 ± 0.005 ^{dB}	0.604 ± 0.009 ^{dB}
Elasticidad (mm)	1	3.39 ± 0.018 ^{aAB}	3.27 ± 0.060 ^{aA}	3.43 ± 0.089 ^{aB}	3.48 ± 0.054 ^{aB}	3.43 ± 0.027 ^{aB}
	7	3.37 ± 0.034 ^{abB}	3.25 ± 0.045 ^{aA}	3.36 ± 0.048 ^{abB}	3.37 ± 0.021 ^{bB}	3.31 ± 0.008 ^{bAB}
	14	3.35 ± 0.014 ^{abcC}	3.22 ± 0.020 ^{abA}	3.32 ± 0.046 ^{abcBC}	3.34 ± 0.027 ^{bcC}	3.27 ± 0.018 ^{bcAB}
	21	3.32 ± 0.031 ^{bcB}	3.22 ± 0.028 ^{abA}	3.27 ± 0.059 ^{bcAB}	3.31 ± 0.051 ^{bcB}	3.26 ± 0.012 ^{bcAB}
	28	3.30 ± 0.018 ^{cdB}	3.19 ± 0.034 ^{abA}	3.24 ± 0.071 ^{bcAB}	3.28 ± 0.033 ^{bcB}	3.23 ± 0.008 ^{cdAB}
	35	3.26 ± 0.027 ^{dB}	3.16 ± 0.030 ^{bA}	3.21 ± 0.025 ^{cAB}	3.26 ± 0.028 ^{cB}	3.17 ± 0.048 ^{dA}
Masticabilidad (N x mm)	1	14.79 ± 0.614 ^{aA}	15.50 ± 1.27 ^{aA}	10.39 ± 1.15 ^{aB}	6.52 ± 0.280 ^{aC}	5.48 ± 0.345 ^{aC}
	7	15.28 ± 0.284 ^{aB}	16.28 ± 0.592 ^{abA}	11.33 ± 0.328 ^{abC}	8.40 ± 0.498 ^{bD}	6.66 ± 0.192 ^{bE}
	14	15.36 ± 0.140 ^{aB}	18.25 ± 0.572 ^{bcA}	11.61 ± 0.230 ^{abcC}	9.38 ± 0.404 ^{bD}	7.29 ± 0.192 ^{bE}
	21	15.92 ± 0.539 ^{abB}	20.45 ± 1.71 ^{cdA}	12.09 ± 0.491 ^{bcC}	10.70 ± 0.554 ^{cC}	7.44 ± 0.606 ^{bD}
	28	16.87 ± 0.865 ^{bB}	20.69 ± 0.691 ^{cdA}	12.97 ± 0.756 ^{cdC}	11.30 ± 0.451 ^{cdD}	8.55 ± 0.440 ^{cE}
	35	18.81 ± 0.502 ^{cB}	21.96 ± 1.61 ^{dA}	14.30 ± 0.378 ^{dC}	11.94 ± 0.444 ^{dD}	9.43 ± 0.244 ^{dE}

Los resultados se expresaron en medias ± desviación estándar. Las letras en superíndice minúsculas diferentes, representan diferencias significativas de cada tratamiento en su evolución respecto al tiempo (columna), las letras en mayúscula diferentes, indican diferencias significativas entre los tratamientos en cada día de evaluación (fila) (P<0.05). Control: producto cárnico con grasa animal al 20%, PCED 30%: producto cárnico con 30% ED en su formulación, PCED 20%: producto cárnico con 20% ED en su formulación, PCED 10%: producto cárnico con 10% ED en su formulación; PCED 5%: producto cárnico con 5% ED en su formulación.

8.3 Etapa 3: evaluación de las propiedades funcionales de los productos cárnicos reformulados con emulsión doble

8.3.1 Contenido de fenoles totales en los productos cárnicos

En la tabla 10 se encuentran representados los resultados de la concentración de compuestos fenólicos en los productos cárnicos. Se encontraron diferencias significativas entre los contenidos de fenoles totales en los tratamientos, así como en su evolución respecto al tiempo ($P < 0.05$). Esta prueba estuvo principalmente influenciada por la presencia o ausencia de emulsión doble con compuestos encapsulados, así como por el tiempo de almacenaje.

El contenido de fenoles en los productos cárnicos fue proporcional al contenido de emulsión doble. En relación a lo anterior el producto cárnico con mayor contenido de fenoles fue el tratamiento con ED al 30% de su formulación, dicho tratamiento inició la prueba con un contenido de 49.77 ± 1.20 mg EAG/100 g de producto cárnico, como puede observarse en la tabla, dicho tratamiento mostró su baja más notable en los primeros 7 días de evaluación, posteriormente exhibió una disminución de forma gradual el resto del experimento hasta el día 35 de almacenaje, donde este producto cárnico finalizó la prueba con un contenido de 34.46 ± 0.69 mg EAG/100 gramos de producto, al finalizar la prueba dicho tratamiento logró conservar un 69.23% del contenido de fenoles inicial. Por otra parte, respecto a los productos reformulados con ED, el tratamiento que mostró el menor contenido de fenoles fue el producto con ED al 5%, dicho cárnico inició la prueba con un contenido de 34.31 ± 0.45 mg EAG/100 g de producto, este cárnico exhibió una disminución gradual en el contenido de estos compuestos, hasta el periodo correspondiente del día 28 al 35 donde se encontró su baja más notable, al día 35 de la evaluación dicho tratamiento finalizó la prueba con un contenido de 23.86 ± 0.45 mg EAG/100 g de producto cárnico, cuando la prueba terminó este tratamiento logró conservar un 69.54% del contenido inicial de compuestos. Finalmente, el producto que exhibió el menor contenido de fenoles de toda la prueba fue el tratamiento control, al día 1 dicho tratamiento mostró un contenido de 28.56 ± 0.26 mg EAG/100 g de producto cárnico, este exhibió su baja más notable los

RESULTADOS Y DISCUSIONES

primeros 7 días de almacenaje, posteriormente mostró una disminución gradual hasta el día 35, en el cual finalizó la prueba con un contenido de 14.01 ± 0.94 mg EAG/100 g de producto. El contenido de estos compuestos en el tratamiento control puede atribuirse a la presencia de compuestos presentes de forma natural en la carne como lo explicó Isaza *et al.* (2011).

Tabla 10. Contenido de compuestos fenólicos en productos cárnicos.

Formulación /tiempo	Mg EAG/100 g de producto cárnico					
	Día 1	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35
Control	28.56 ± 0.26 ^{eA}	19.46 ± 0.26 ^{eB}	16.28 ± 0.69 ^{eC}	16.28 ± 0.26 ^{eC}	15.37 ± 0.52 ^{eCD}	14.01 ± 0.94 ^{eD}
PCED 5%	34.31 ± 0.45 ^{dA}	32.65 ± 0.69 ^{dAB}	31.59 ± 0.90 ^{dBC}	30.45 ± 1.13 ^{dC}	27.50 ± 0.78 ^{dD}	23.86 ± 0.45 ^{dE}
PCED 10%	40.00 ± 1.59 ^{cA}	35.98 ± 0.26 ^{cB}	34.31 ± 0.45 ^{cBC}	33.86 ± 0.45 ^{cC}	32.34 ± 0.52 ^{cC}	28.25 ± 0.26 ^{cD}
PCED 20%	43.86 ± 0.90 ^{bA}	41.13 ± 0.45 ^{bB}	39.62 ± 0.69 ^{bB}	35.68 ± 0.90 ^{bC}	35.07 ± 0.26 ^{bC}	30.22 ± 0.78 ^{bD}
PCED 30%	49.77 ± 1.20 ^{aA}	42.95 ± 0.45 ^{aB}	41.05 ± 0.45 ^{aC}	40.37 ± 0.26 ^{aD}	37.34 ± 0.69 ^{aE}	34.46 ± 0.69 ^{aF}

Los resultados se expresaron en medias ± desviación estándar. Las letras en superíndice minúsculas diferentes, expresan diferencias significativas entre los tratamientos (columna), las letras en superíndice mayúsculas diferentes expresan diferencias significativas entre el mismo tratamiento respecto al tiempo (fila) (P<0.05). Control: producto cárnico con grasa animal al 20%, PCED 30%: producto cárnico con ED al 30% de su formulación, PCED 20%: producto cárnico con ED al 20% de su formulación, PCED 10%: producto cárnico con ED al 10% de su formulación, PCED 5%: producto cárnico con ED al 5% de su formulación.

Los altos contenidos de compuestos fenólicos en los productos reformulados con ED se pueden atribuir al filtrado de xoconostle encapsulado en dicha emulsión. El xoconostle ha sido ampliamente estudiado por la presencia de compuestos bioactivos como compuestos fenólicos y betacianinas. Los efectos beneficiosos que se han reportado por el consumo de este fruto se han relacionado principalmente con su composición y concentración de estos compuestos (Pérez-Alonzo *et al.*, 2015). De igual forma, los resultados obtenidos en esta prueba están respaldados por los resultados obtenidos en la evaluación del contenido total de fenoles de la emulsión donde se encapsuló el filtrado de xoconostle. La conservación de estos compuestos en los productos cárnicos reformulados durante toda la prueba, puede deberse a la capacidad de las emulsiones dobles para encapsular, proteger y liberar de forma controlada compuestos hidrófilos lábiles (Jiménez-Colmenero, 2013b).

Un efecto similar al exhibido en el presente trabajo fue reportado por Pimentel *et al.* (2015), donde se encapsuló una sustancia comercial de compuestos fenólicos de uva en una formulación de ED, la cual posteriormente se incorporó en un queso madurado tipo Chihuahua, de igual forma se elaboraron tratamientos donde los compuestos se agregaron de forma directa y otro donde no se agregaron, la influencia de protección de la ED sobre los compuestos encapsulados se expresó de forma en que en el queso con compuestos encapsulados en la ED, la disminución en el contenido de fenoles fue gradual, mientras que en el tratamiento donde se agregaron de forma directa la disminución fue menos controlada, finalmente el tratamiento control exhibió contenidos casi nulos, todo durante 45 días de almacenaje. Al finalizar la prueba el queso con compuestos encapsulados del trabajo citado, logró conservar un 79.38% del contenido inicial de compuestos, comparable a lo reportado en el presente trabajo donde el producto cárnico con ED al 30%, al finalizar el periodo de prueba logró conservar un 69.23% del contenido inicial de compuestos fenólicos.

8.3.2 Capacidad antioxidante de los productos cárnicos por el método ABTS

En la tabla 11 se encuentran los resultados obtenidos de la evaluación de la capacidad antioxidante de los productos cárnicos por la prueba ABTS. Se

RESULTADOS Y DISCUSIONES

encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, así como en el comportamiento de cada uno respecto al tiempo ($P < 0.05$). Esta prueba estuvo principalmente influenciada por la presencia o ausencia de emulsión doble con compuestos encapsulados, así como por el tiempo de almacenaje.

Como puede observarse en la tabla 11, la actividad antioxidante de los productos cárnicos fue proporcional al contenido de emulsión, los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición de radical. En tal sentido el tratamiento que exhibió los mayores porcentajes de inhibición de radical fue el producto cárnico con ED al 30% de su formulación, dicho producto inició la prueba con un porcentaje correspondiente a $12.00 \pm 0.24\%$, posteriormente la capacidad antioxidante en este tratamiento disminuyó de forma gradual hasta el periodo comprendido entre los días 21 y 28 donde se encontró su baja más notable, finalmente al día 35 de almacenaje dicho tratamiento mostró un porcentaje de inhibición de radical correspondiente a $7.00 \pm 0.14\%$. Por otra parte, dentro de los productos cárnicos reformulados con ED, el tratamiento que exhibió la menor capacidad antioxidante fue el producto con ED al 5%, dicho producto inició la prueba con un porcentaje de inhibición de radical correspondiente a $8.95 \pm 0.21\%$, este tratamiento no exhibió bajas tan notables, por el contrario, la capacidad antioxidante disminuyó de forma gradual, este producto cárnico finalizó la prueba con un porcentaje de inhibición de radical de $5.00 \pm 0.28\%$. Finalmente, el producto cárnico que mostró la menor capacidad antioxidante de toda la prueba fue el control, el cual inició la prueba con un porcentaje de inhibición correspondiente a $6.80 \pm 0.08\%$, la capacidad antioxidante de este producto disminuyó de forma gradual hasta el periodo que comprendió los días 14 y 21 donde mostró su baja más notable, posterior a esto, la capacidad antioxidante nuevamente disminuyó de forma gradual hasta el día 35 en el cual dicho tratamiento finalizó la prueba con un porcentaje de inhibición de radical de $3.42 \pm 0.74\%$. Cabe resaltar que el tratamiento con 30% ED fue el que logró conservar un mayor porcentaje de la capacidad antioxidante inicial, al día final de evaluación, dicho tratamiento conservó un 58.33% de la capacidad inicial.

Tabla 11. Porcentajes de inhibición de radical ABTS de los productos cárnicos.

	Día 1	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35
Control	6.80 ± 0.08 ^{aA}	6.52 ± 0.21 ^{aA}	6.04 ± 0.21 ^{aA}	4.33 ± 0.41 ^{aB}	4.00 ± 0.57 ^{aB}	3.42 ± 0.74 ^{aB}
PCED 5%	8.95 ± 0.21 ^{bA}	8.19 ± 0.21 ^{bB}	6.66 ± 0.08 ^{bC}	6.61 ± 0.08 ^{bC}	6.52 ± 0.21 ^{bC}	5.00 ± 0.28 ^{bD}
PCED 10%	10.38 ± 0.21 ^{cA}	8.38 ± 0.54 ^{bB}	8.09 ± 0.29 ^{cBC}	7.47 ± 0.21 ^{cCD}	7.00 ± 0.37 ^{bD}	5.95 ± 0.08 ^{bcE}
PCED 20%	11.66 ± 0.35 ^{dA}	9.00 ± 0.14 ^{bB}	8.95 ± 0.08 ^{dB}	8.61 ± 0.08 ^{dB}	7.28 ± 0.14 ^{bcC}	6.66 ± 0.16 ^{cdD}
PCED 30%	12.00 ± 0.24 ^{dA}	11.71 ± 0.28 ^{cA}	10.71 ± 0.28 ^{eB}	10.47 ± 0.35 ^{eB}	7.95 ± 0.29 ^{cC}	7.00 ± 0.14 ^{dD}

Los resultados se expresaron en medias ± desviación estándar. Las letras en superíndice minúsculas diferentes, expresan diferencias significativas entre los tratamientos (columna), las letras en superíndice mayúsculas diferentes, expresan diferencias significativas entre el mismo tratamiento respecto al tiempo (fila) (P<0.05). Control: producto cárnico con grasa animal al 20%, PCED 30%: producto cárnico con ED al 30% de su formulación, PCED 20%: producto cárnico con ED al 20% de su formulación, PCED 10%: producto cárnico con ED al 10% de su formulación, PCED 5%: producto cárnico con ED al 5% de su formulación.

Los resultados obtenidos en esta prueba están principalmente respaldados por lo reportado en la evaluación de compuestos fenólicos en los productos cárnicos, compuestos a los cuales se les atribuye la capacidad antioxidante de los productos reformulados en esta prueba.

No existen reportes de la evaluación de productos cárnicos reformulados con ED por la prueba ABTS, sin embargo, los resultados obtenidos en el presente trabajo son comparables a lo reportado por Pimentel *et al.* (2015), las especificaciones de este trabajo ya se han descrito anteriormente, se encapsuló una solución comercial de compuestos fenólicos de uva en una ED para incorporarla en una formulación de queso tipo Chihuahua, de igual forma se elaboraron tratamientos donde no se agregó la sustancia de polifenoles y otro donde se agregó sin encapsular, la capacidad antioxidante se conservó de buena forma solo en el tratamiento con compuestos encapsulados por la ED (método ABTS). El queso con compuestos encapsulados en ED mostró un comportamiento comparable al exhibido por los productos cárnicos reformulados en el presente trabajo, en el trabajo citado dicho tratamiento inició la prueba con un porcentaje de inhibición de radical ABTS correspondiente a 7.59%, posteriormente la capacidad antioxidante disminuyó de forma gradual, hasta el día final de evaluación (día 45) en el cual mostró un porcentaje de inhibición de radical correspondiente a 4.70%. Después de finalizada la prueba dicho producto logró conservar un 61.92% de la capacidad antioxidante inicial, comparable al exhibido en el presente trabajo por el producto cárnico con 30% emulsión doble, el cual logró conservar un 58.33% de la capacidad antioxidante inicial, la conservación de la capacidad antioxidante en los tratamientos comparados se atribuye a las propiedades de protección brindadas por la ED diseñada en cada caso.

8.3.3 Capacidad antioxidante de los productos cárnicos por el método DPPH

En la tabla 12 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación de la capacidad antioxidante de los productos cárnicos por la prueba DPPH. Se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, así como en el comportamiento de cada uno respecto al tiempo ($P < 0.05$). Esta prueba estuvo principalmente

RESULTADOS Y DISCUSIONES

influenciada por la presencia o ausencia de emulsión doble con compuestos encapsulados, así como por el tiempo de almacenaje.

Como puede observarse en la tabla 12, la capacidad antioxidante fue proporcional al contenido de emulsión en los productos cárnicos, los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición de radical. La mayor capacidad antioxidante de toda la prueba fue exhibida por el producto cárnico con ED al 30% en su formulación, en el primer día de evaluación dicho tratamiento mostró un porcentaje de inhibición de radical correspondiente a $10.71 \pm 0.57\%$, la capacidad antioxidante de este cárnico no mostró caídas notables respecto al tiempo, por el contrario, esta mostró una disminución gradual durante el periodo de evaluación, finalmente dicho tratamiento exhibió un porcentaje de inhibición de radical correspondiente a $6.71 \pm 0.14\%$ al día final de prueba (día 35). Por otra parte, dentro de los productos reformulados con ED, el producto cárnico que mostró menor capacidad antioxidante, fue el producto con 5% ED en su formulación, dicho tratamiento al día 1 de evaluación mostró un porcentaje de inhibición de radical de $7.21 \pm 0.50\%$, al igual que en los otros tratamientos reformulados con emulsión doble, la capacidad antioxidante de este producto disminuyó de forma gradual sin bajas muy notables, al día 35 de evaluación este cárnico exhibió un $5.42 \pm 0.00\%$ de inhibición de radical. Finalmente, el tratamiento control mostró la menor capacidad antioxidante de toda la prueba, al día 1 este producto cárnico exhibió un $5.57 \pm 0.00\%$ de inhibición de radical, dicho tratamiento no mostró variaciones notables durante el periodo de evaluación, para finalizar la prueba con un porcentaje de inhibición de radical correspondiente a $3.57 \pm 0.14\%$. Cabe resaltar el comportamiento del tratamiento con ED al 5%, el cual al finalizar la prueba logró conservar el 75.17% de la capacidad antioxidante inicial.

Tabla 12. Porcentajes de inhibición de radical DPPH de los productos cárnicos.

	Día 1	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35
Control	5.57 ± 0.00 ^{aA}	5.23 ± 0.08 ^{aAB}	4.95 ± 0.08 ^{aB}	4.85 ± 0.00 ^{aB}	4.33 ± 0.32 ^{aC}	3.57 ± 0.14 ^{aD}
PCED 5%	7.21 ± 0.50 ^{bA}	6.71 ± 0.14 ^{bA}	6.52 ± 0.16 ^{bAB}	5.85 ± 0.28 ^{bBC}	5.66 ± 0.16 ^{bC}	5.42 ± 0.00 ^{bC}
PCED 10%	8.66 ± 0.16 ^{cA}	7.80 ± 0.08 ^{cB}	7.09 ± 0.16 ^{cC}	6.42 ± 0.14 ^{cD}	6.28 ± 0.00 ^{cD}	5.95 ± 0.08 ^{cE}
PCED 20%	9.80 ± 0.21 ^{dA}	8.76 ± 0.16 ^{dB}	7.80 ± 0.32 ^{dC}	7.04 ± 0.16 ^{dD}	6.71 ± 0.28 ^{dDE}	6.42 ± 0.00 ^{dE}
PCED 30%	10.71 ± 0.57 ^{dA}	9.42 ± 0.37 ^{eB}	8.57 ± 0.14 ^{eC}	7.71 ± 0.14 ^{eD}	7.47 ± 0.21 ^{dDE}	6.71 ± 0.14 ^{eE}

Los resultados se expresaron en medias ± desviación estándar. Las letras en superíndice minúsculas diferentes, expresan diferencias significativas entre los tratamientos (columna), las letras en superíndice mayúsculas diferentes, expresan diferencias significativas entre el mismo tratamiento respecto al tiempo (fila) (P<0.05). Control: producto cárnico con grasa animal al 20%, PCED 30%: producto cárnico con ED al 30% de su formulación, PCED 20%: producto cárnico con ED al 20% de su formulación, PCED 10%: producto cárnico con ED al 10% de su formulación, PCED 5%: producto cárnico con ED al 5% de su formulación.

Los resultados obtenidos en esta evaluación están respaldados por lo obtenido en la prueba de contenido de compuestos fenólicos en los productos cárnicos, a dichos compuestos puede atribuirse la actividad antioxidante superior en los tratamientos reformulados con ED, por otra parte la capacidad antioxidante exhibida por el tratamiento control puede deberse a antioxidantes endógenos (carnosina, enzimas antioxidantes), los cuales están presentes de forma natural y pueden jugar un papel importante en la estabilidad oxidativa de la carne (Min *et al.*, 2008). En esta prueba se mostró una mayor disminución en la capacidad antioxidante en los tratamientos con mayor contenido de emulsión a diferencia de lo encontrado en la prueba ABTS, donde los tratamientos con mayor contenido ED mostraron menor disminución de la capacidad antioxidante durante la prueba, dichas diferencias pueden deberse a que el método ABTS está basado en la transferencia de átomos de hidrógeno del antioxidante en estudio, lo cual es consistente con la forma de trabajar de los fenoles al inhibir un radical libre, este hecho ocurre porque los fenoles pueden ser donadores de hidrógeno o electrones en las reacciones de finalización que rompen la generación de radicales libres, por otra parte, DPPH es un método basado en la reacción de transferencia de electrones, envolviendo más de un simple átomo de hidrógeno que corresponde a la forma en que los fenoles reaccionan como donadores de electrones (Isaza *et al.*, 2011). Cabe mencionar que la prueba DPPH mostró una buena relación con los resultados obtenidos en la prueba de estabilidad oxidativa TBARS, dicha relación se explicara más a fondo en la siguiente sección.

Cofrades *et al.* (2014) evaluaron la capacidad antioxidante, así como la estabilidad oxidativa de productos cárnicos emulsionados en los cuales la grasa animal fue reemplazada por una emulsión doble, en la cual se encapsuló hydroxytyrosol (antioxidante) en la fase acuosa interna, como fase lipídica se usó aceite de chía, PGPR como emulgente lipófilo y caseinato de sodio como emulgente hidrófilo en la fase acuosa externa. Al producto cárnico donde se incorporó la ED se monitoreó su capacidad antioxidante por la prueba DPPH durante 39 días, en la primera parte del experimento el producto cárnico se comportó de muy buena forma, este mostró en el día 1 un porcentaje de inhibición de radical DPPH de 31.14%, al día 7 aún exhibió un porcentaje de inhibición de radical del 29.69%, posteriormente se mostró una

disminución bastante notable, al día 19 el porcentaje de inhibición de radical del cárnico fue de 2.84% y permaneció con valores aproximados hasta que terminó la prueba con un porcentaje de 1.29% al día 39 de evaluación. Después de finalizada la prueba, el producto cárnico del trabajo citado logró conservar un 4.14% de la capacidad antioxidante inicial, muy inferior al porcentaje de protección mostrado en cualquiera de los productos cárnicos aquí reportados, incluso al tratamiento con ED al 30%, el cual después de 35 días logró conservar un 62.65% de la capacidad antioxidante inicial (el menor de todos los tratamientos reformulados). A pesar de que el porcentaje de inhibición de radical exhibido por el producto cárnico reformulado con ED (hydroxytyrosol) en el trabajo de Cofrades y colaboradores fue muy alto en los primeros días de almacenaje, en comparación con cualquiera de los tratamientos reportados en el presente trabajo, después de 19 días en el trabajo de Cofrades y colaboradores, la capacidad antioxidante prácticamente desapareció por completo, mientras que en el presente trabajo cualquiera de los tratamientos reformulados con ED mostraron una disminución gradual en la capacidad antioxidante, exhibiendo un efecto de protección sobre la fuente antioxidante, el cual se puede atribuir a la formulación de ED diseñada en el presente trabajo.

8.3.4 Estabilidad oxidativa de los productos cárnicos por la prueba TBARS.

En la tabla 13 se presentan los resultados de la evaluación de la estabilidad oxidativa de los productos cárnicos, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, así como en el comportamiento de cada uno respecto al tiempo ($P < 0.05$). Esta prueba estuvo principalmente influenciada por la presencia o ausencia de emulsión doble con compuestos encapsulados, así como por el tiempo de almacenaje.

Como se ha explicado en la sección 2.6.3 el Malonaldehído (MAD) es un compuesto secundario de la oxidación, y por ende un indicador del grado de oxidación en los alimentos. Como se puede observar en la tabla 13, la tendencia en la concentración de MAD fue en aumento respecto al tiempo de almacenaje en todos los productos cárnicos. El tratamiento con ED al 30%, fue el cual mostró los mayores valores de MAD de toda la prueba, como puede observarse en la tabla, el aumento de este

RESULTADOS Y DISCUSIONES

compuesto fue de forma gradual, dicho tratamiento inició la prueba con un contenido de 1.92 ± 0.06 mg MAD/kg de producto cárnico, el aumento más notable de este producto se exhibió en el periodo comprendido entre los días 7 y 14, finalmente dicho tratamiento finalizó la prueba con un contenido de 3.09 ± 0.01 mg MAD/kg de producto cárnico al día 35. Los menores contenidos de este compuesto se expresaron en 2 tratamientos, los productos cárnicos con 5 y 10% ED en su formulación. Inicialmente el cárnico con 5% ED mostró los menores contenidos de MAD, este inició la prueba con 0.724 ± 0.01 mg MAD/kg de producto cárnico, no fue hasta el día 14 de la prueba donde este cárnico sobrepasó los contenidos del producto con ED al 10%, pues a este día mostró un contenido de 1.41 ± 0.04 mg de MAD/kg de producto cárnico, al día final de la prueba este tratamiento mostró un contenido de 2.11 ± 0.06 mg de MAD/kg de producto cárnico. Por otra parte, el tratamiento con 10% ED inició la prueba con un contenido de 0.891 ± 0.01 mg de MAD/kg de producto cárnico, a partir del día 14 este producto fue sobrepasado en contenido de MAD por el tratamiento con ED al 5%, por otra parte, el cárnico con ED al 10% terminó la prueba con 1.85 ± 0.03 mg de MAD/kg de producto cárnico, el menor de toda la prueba. Finalmente, el control fue el segundo tratamiento con mayores valores de MAD durante casi toda la prueba, al día 1, dicho tratamiento mostró un contenido de 1.15 ± 0.00 mg MAD/kg de producto cárnico, dicho compuesto se mantuvo en aumento en el producto control, hasta el día 35 en el cual finalizó la prueba con 2.60 ± 0.03 mg de MDA/kg de producto cárnico.

A pesar de que el cárnico con ED al 30% en su formulación exhibió los mayores valores de MAD en la prueba, de igual forma fue el cárnico más estable al mostrar el menor incremento de este compuesto durante los 35 días de almacenaje, el cual correspondió a un 37.86% respecto al contenido final. Se estimó al tratamiento control como el más inestable a la oxidación, por 2 factores, fue el segundo tratamiento en mostrar los mayores valores de MAD y de igual forma el segundo con el mayor incremento de este compuesto en toda la prueba con un 55.76% respecto a su contenido final.

Tabla 13. Contenido de MAD en los productos cárnicos.

mg MAD/kg de producto cárnico						
	Día 1	Día 7	Día 14	Día 21	Día 28	Día 35
Control	1.15 ± 0.00 ^{cA}	1.81 ± 0.01 ^{dB}	1.93 ± 0.03 ^{dB}	2.12 ± 0.03 ^{bC}	2.40 ± 0.09 ^{cD}	2.60 ± 0.03 ^{dE}
PCED 5%	0.724 ± 0.01 ^{aA}	1.17 ± 0.03 ^{aB}	1.41 ± 0.04 ^{bC}	1.55 ± 0.03 ^{aD}	1.83 ± 0.03 ^{bE}	2.11 ± 0.06 ^{bF}
PCED 10%	0.891 ± 0.01 ^{bA}	1.25 ± 0.01 ^{bB}	1.29 ± 0.01 ^{aB}	1.45 ± 0.06 ^{aC}	1.60 ± 0.07 ^{aD}	1.85 ± 0.03 ^{aE}
PCED 20%	1.35 ± 0.03 ^{dA}	1.62 ± 0.01 ^{cB}	1.76 ± 0.01 ^{cC}	2.19 ± 0.07 ^{bD}	2.34 ± 0.01 ^{cE}	2.49 ± 0.03 ^{cF}
PCED 30%	1.92 ± 0.06 ^{eA}	2.20 ± 0.03 ^{eB}	2.63 ± 0.01 ^{eC}	2.80 ± 0.03 ^{cD}	2.82 ± 0.03 ^{dD}	3.09 ± 0.01 ^{eE}

Los resultados se expresaron en medias ± desviación estándar. Las letras en superíndice minúsculas diferentes, expresan diferencias significativas entre los tratamientos (columna), las letras en superíndice mayúsculas diferentes, expresan diferencias significativas entre el mismo tratamiento respecto al tiempo (fila) (P<0.05). Control: producto cárnico con grasa animal al 20%, PCED 30%: producto cárnico con ED al 30% de su formulación, PCED 20%: producto cárnico con ED al 20% de su formulación, PCED 10%: producto cárnico con ED al 10% de su formulación, PCED 5%: producto cárnico con ED al 5% de su formulación.

La oxidación en la carne y los productos cárnicos puede estar ligada a múltiples factores como el oxígeno, humedad, luz y temperatura, así como a técnicas de conservación y procesamiento (enfriado y congelado), aditivos (sales, nitritos y especias), cocinado, irradiación, altas presiones y empaçado, aunado al grado de insaturación de los lípidos presentes en el producto, pueden influenciar al grado de oxidación en productos cárnicos (Falowo *et al.*, 2014). Lo anterior puede explicar porque el producto cárnico con ED al 30% exhibió mayores valores de MAD respecto al tratamiento control, en las pruebas proximales dicho tratamiento mostró el mayor contenido de grasa en los productos reformulados con ED, la mayor parte de esa grasa correspondió al aceite de canola incorporado en la ED, como se explicó en la sección 2.12.2 este es rico en ácidos grasos insaturados, los cuales promueven la oxidación. Por otra parte, el menor incremento de MAD en 3 de los 4 productos (tratamientos con 30, 20, y 10% ED) reformulados con ED respecto al control, puede deberse a 2 factores: 1) la relación con los resultados de la capacidad antioxidante de los productos cárnicos en la prueba DPPH, los tratamientos con mayor contenido de ED fueron quienes exhibieron una mayor disminución en la capacidad antioxidante durante la prueba DPPH, lo cual se vio reflejado en la estabilidad oxidativa, pues dichos tratamientos mostraron los menores incrementos de MAD del día 1 al 35, lo cual puede hablar de una acción de los compuestos antioxidantes encapsulados, 2) por otra parte la mayor estabilidad oxidativa de los productos cárnicos reformulados con ED respecto al control, puede atribuirse también a la protección que ofreció la fase acuosa externa a la fase lipídica de la emulsión. Las proteínas de suero de leche como agentes encapsulantes, forman películas transparentes, insípidas, y flexibles con una buena resistencia a la transferencia de oxígeno, aromas y lípidos (García Ceja & López Malo, 2012). Torres-Giner *et al.* (2010) reportaron la encapsulación de aceite de pescado haciendo uso de proteína láctea, en dicho trabajo se logró estabilizar dicho aceite evitando su oxidación.

Como se ha descrito en la prueba anterior Cofrades *et al.* (2014), evaluaron la capacidad antioxidante y estabilidad oxidativa de un producto cárnico emulsionado en el cual se sustituyó la grasa animal por una formulación de ED donde se

encapsuló un antioxidante como el hydroxytyrosol. Los valores de MAD obtenidos en dicho producto son mayores, aunque comparables a lo reportado en cualquiera de los tratamientos del presente trabajo. Cofrades y colaboradores reportaron un contenido inicial de MAD para dicho producto de 4.29 mg de MAD/kg de producto cárnico, posteriormente no se reportó una tendencia clara, hasta que al día 39 dicho producto finalizó la prueba con un contenido de 3.39 mg MAD/kg de producto cárnico. Finalmente, en el trabajo citado no se pudo establecer una relación entre la capacidad antioxidante y la estabilidad oxidativa del producto cárnico. En el presente trabajo, por el contrario, se estima que la mayor disminución en la capacidad antioxidante (prueba DPPH) de los productos cárnicos con mayor contenido de emulsión, puede estar relacionada con la mayor estabilidad oxidativa en estos mismos debido a un consumo de la fuente antioxidante, así como a un efecto de protección presentado por la fase acuosa externa sobre la fase lipídica.

Serdaroglu *et al.* (2016) realizaron la incorporación de una formulación de ED en productos cárnicos emulsionados con el fin de sustituir la grasa animal en diferentes porcentajes (10, 20 y 30% de la formulación total de los productos cárnicos) y entre otras pruebas, evaluaron la estabilidad oxidativa de las reformulaciones, en dicho trabajo se reportó un efecto comparable al reportado en el presente trabajo, donde el contenido de MAD fue proporcional al contenido de ED en las reformulaciones, mostrando una tendencia en aumento y siendo el tratamiento control, el producto con mayor contenido de MAD (menos estable a la oxidación). Los valores de MAD reportados en el trabajo citado, son inferiores a lo reportado en el presente trabajo, cabe mencionar que, en el trabajo citado, al no ser prioridad la incorporación de algún compuesto antioxidante natural, se incorporaron compuestos antioxidantes convencionales que pudieron influir en esta prueba.

9 Conclusiones

El filtrado del fruto xoconostle presentó muy buena concentración de fenoles y flavonoides, lo cual se vio reflejado en una muy buena capacidad antioxidante del mismo en las pruebas ABTS y DPPH.

La formulación de emulsión doble con aislado proteico de suero de leche al 35% en la fase acuosa externa, presentó las condiciones adecuadas de pH y estabilidad física para ser incorporada a productos cárnicos emulsionados, de igual forma esta presentó un incremento en el tamaño de gota de forma controlada, lo que le permitió proteger los compuestos bioactivos.

La emulsión doble con aislado proteico de suero de leche al 35% en la fase acuosa externa, logró proteger un muy buen porcentaje de compuestos bioactivos (fenoles y flavonoides) de xoconostle durante el periodo de almacenaje (35 días), lo cual se tradujo en una buena capacidad antioxidante de esta emulsión en las pruebas ABTS y DPPH en el mismo periodo de tiempo, aun con comportamientos diferentes en estas 2 últimas pruebas, el rendimiento de la emulsión en ambas fue muy bueno.

Es factible la incorporación de la emulsión doble aquí diseñada en la formulación de productos cárnicos emulsionados, la presencia de esta en los productos cárnicos reformulados además de aportar una fuente lipídica más saludable, logró disminuir el contenido de grasa en los tratamientos, sustituyéndola con aumentos en el contenido de humedad y proteína respecto al control. La emulsión doble también aportó estabilidad en el parámetro pH a los productos cárnicos, al ser los tratamientos con mayor contenido de emulsión doble (20 y 30%) los que mostraron un mejor comportamiento durante el tiempo de almacenaje (35 días). La reformulación de los productos cárnicos emulsionados de igual forma influyó en el análisis de perfil de textura, principalmente en los parámetros de dureza y masticabilidad, los cuales fueron en aumento de forma notable en el tiempo de almacenaje.

La formulación de emulsión doble permitió incorporar y conservar los compuestos bioactivos (compuestos fenólicos) del filtrado de xoconostle en los productos

CONCLUSIONES

cárnicos reformulados durante el almacenaje (35 días). En relación con lo anterior, la incorporación de la emulsión doble con compuestos encapsulados aquí desarrollada, aportó propiedades antioxidantes a los productos cárnicos reformulados durante el mismo periodo de tiempo. Tanto el contenido de fenoles, como la capacidad antioxidante en los cárnicos reformulados, fueron proporcionales al contenido de emulsión en su formulación.

La reformulación de productos cárnicos emulsionados con la emulsión doble diseñada en este trabajo, mejoró la estabilidad oxidativa de estos respecto al control, debido a que los 3 tratamientos con mayor contenido de emulsión mostraron un menor incremento del compuesto MAD en el tiempo de almacenaje (35 días). La mejor estabilidad oxidativa expresada en los tratamientos reformulados con emulsión, se atribuye a 2 factores: 1) acción de los compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes encapsulados en la fase acuosa interna de la emulsión incorporada (lo anterior por la relación de los resultados de la prueba DPPH y TBARS en los productos cárnicos), 2) una buena protección de la fase acuosa externa sobre la fase lipídica de la emulsión doble.

Los alimentos funcionales son una tendencia que cada vez cobra más importancia gracias a la demanda de los consumidores por alimentos más saludables. Las emulsiones dobles, son una excelente herramienta para el desarrollo de este tipo de alimentos, ya sea para limitar la presencia de compuestos con efectos negativos a la salud, así como el enriquecimiento con compuestos con efecto beneficioso.

10 Referencias bibliográficas

- Akhtar, M., Murray, B. S., Afeisume, E. I., & Khew, S. H. (2014). Encapsulation of flavonoid in multiple emulsion using spinning disc reactor technology. *Food Hydrocolloids*, *34*, 62-67. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.12.025>
- Ambriz-Pérez, D. L., Leyva-López, N., Gutierrez-Grijalva, E. P., & Heredia, J. B. (2016). Phenolic compounds: Natural alternative in inflammation treatment. A Review. *Cogent Food & Agriculture*, *2*(1). doi: 10.1080/23311932.2015.1131412
- AOAC. (1997). Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Métodos 923.03, 925.09, 920.123.
- Aranberri, I. B., B.P., Clint, J.H., & Fletcher, P.D.I. (2006). ELABORACION Y CARACTERIZACIÓN DE EMULSIONES ESTABILIZADAS POR POLIMEROS Y AGENTES TENSIOACTIVOS. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, *7*:3, 211-231.
- Arvouet-Grand, A., Vennat, B., Pourrat, A., & Legret, P. (1994). Standardization of propolis extract and identification of principal constituents. *J Pharm Belg*, *49*(6), 462-468.
- B., B.-R. (2013). The Food Additive Polyglycerol Polyricinoleate (E-476): Structure, Applications, and Production Methods. *Chemical Engineering*, *2013*, 1-21.
- Bastida-Rodríguez, J. (2013). The Food Additive Polyglycerol Polyricinoleate (E-476): Structure, Applications, and Production Methods. *ISRN Chemical Engineering*, *2013*, 21. doi: 10.1155/2013/124767
- Belitz H. D., G., W. & Schieberle. P. (2010). *Food Chemistry* (Vol. 4). Berlin Heidelberg, Germany: Springer
- Benichou, A., Aserin, A., & Garti, N. (2004). Double emulsions stabilized with hybrids of natural polymers for entrapment and slow release of active matters. *Adv Colloid Interface Sci*, *108-109*, 29-41. doi: 10.1016/j.cis.2003.10.013
- Bloukas, J. G., Paneras, E. D., & Fournitzis, G. C. (1997). Effect of replacing pork backfat with olive oil on processing and quality characteristics of fermented sausages. *Meat Sci*, *45*(2), 133-144. doi: [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(96\)00113-1](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(96)00113-1)
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, *28*(1), 25-30. doi: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Burgain, J., Gaiani, C., Linder, M., & Scher, J. (2011). Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. *Journal of Food Engineering*, *104*(4), 467-483. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.12.031>
- Carne, C. M. d. I. (2017). *Compendio estadístico*
- Carne, C. M. d. I. (2018a). Retrieved 25 de enero 2018, 2018, from <http://comecarne.org/>
- Carne, C. M. d. I. (2018b). Compendio Estadístico 2017. Retrieved 9 marzo 2018, 2018, from <http://comecarne.org/>
- Castellar, R., Obón, J. M., Alacid, M., & Fernández-López, J. A. (2003). Color Properties and Stability of Betacyanins from Opuntia Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(9), 2772-2776. doi: 10.1021/jf021045h
- Cenobio-Galindo, A. d. J. (2015). *Encapsulación de polifenoles de xoconostle aplicados en películas comestibles a partir de almidón obtenido de chayotextle (sechium edule sw.)*. (Maestría), Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Cofrades, S., Antoniou, I., Solas, M. T., Herrero, A. M., & Jiménez-Colmenero, F. (2013). Preparation and impact of multiple (water-in-oil-in-water) emulsions in meat systems. *Food Chemistry*, *141*(1), 338-346. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.097>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cofrades, S., Santos-López, J. A., Freire, M., Benedí, J., Sánchez-Muniz, F. J., & Jiménez-Colmenero, F. (2014). Oxidative stability of meat systems made with W1/O/W2 emulsions prepared with hydroxytyrosol and chia oil as lipid phase. *LWT - Food Science and Technology*, *59*(2, Part 1), 941-947. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.051>
- Datar, I., & Betti, M. (2010). Possibilities for an in vitro meat production system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *11*(1), 13-22. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.10.007>
- De La Torre, A., Gruffat, D., Durand, D., Micol, D., Peyron, A., Scislowski, V., & Bauchart, D. (2006). Factors influencing proportion and composition of CLA in beef. *Meat Sci*, *73*(2), 258-268. doi: [10.1016/j.meatsci.2005.11.025](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.11.025)
- Decker, E. A., & Park, Y. (2010). Healthier meat products as functional foods. *Meat Sci*, *86*(1), 49-55. doi: [10.1016/j.meatsci.2010.04.021](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.021)
- Desai, K. G. H., & Jin Park, H. (2005). Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. *Drying Technology*, *23*(7), 1361-1394. doi: [10.1081/DRT-200063478](https://doi.org/10.1081/DRT-200063478)
- Djordjevic, D., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2004). Oxidative Stability of Whey Protein-stabilized Oil-in-water Emulsions at pH 3: Potential ω -3 Fatty Acid Delivery Systems (Part B). *Journal of Food Science*, *69*(5), C356-C362. doi: [doi:10.1111/j.1365-2621.2004.tb10697.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb10697.x)
- Dzudie, T., Kouebou, C. P., Essia-Ngang, J. J., & Mbofung, C. M. F. (2004). Lipid sources and essential oils effects on quality and stability of beef patties. *Journal of Food Engineering*, *65*(1), 67-72. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2003.12.004>
- Eisinaite, V., Juraite, D., Schroën, K., & Leskauskaite, D. (2017). Food-grade double emulsions as effective fat replacers in meat systems. *Journal of Food Engineering*, *213*, 54-59. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.022>
- Elejalde Guerra, J. I. (2001). Estrés oxidativo, enfermedades y tratamientos antioxidantes. *Anales de Medicina Interna*, *18*, 50-59.
- Erick Paul Gutiérrez-Grijalva, D. L. A.-P., Nayely Leyva-López, Ramón Ignacio Castillo-López, José Basilio Heredia. (2016). Review: dietary phenolic compounds, health benefits and bioaccessibility *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, *66*:2, 87-100.
- Falowo, A. B., Fayemi, P. O., & Muchenje, V. (2014). Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. *Food Research International*, *64*, 171-181. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.022>
- FAO. (2016). Carne y Productos Cárnicos. Retrieved 9 diciembre 2017, 2017, from <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/home.html>
- Farjas Abadía, P. (2003). Sobre los alimentos funcionales. *Revista Española de Salud Pública*, *77*, 313-316.
- Freire, M., Bou, R., Cofrades, S., Solas, M. T., & Jimenez-Colmenero, F. (2016). Double emulsions to improve frankfurter lipid content: impact of perilla oil and pork backfat. *J Sci Food Agric*, *96*(3), 900-908. doi: [10.1002/jsfa.7163](https://doi.org/10.1002/jsfa.7163)
- García Ceja, A. L. M., A. (2012). Biopolímeros utilizados en la encapsulación *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, *6-1*, 84-97.
- Garg, M. L., Wood, L. G., Singh, H., & Moughan, P. J. (2006). Means of Delivering Recommended Levels of Long Chain n-3 Polyunsaturated Fatty Acids in Human Diets. *Journal of Food Science*, *71*(5), R66-R71. doi: [doi:10.1111/j.1750-3841.2006.00033.x](https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2006.00033.x)
- Garti, N., & Aserin, A. (1996). Double emulsions stabilized by macromolecular surfactants. *Advances in Colloid and Interface Science*, *65*, 37-69. doi: [https://doi.org/10.1016/0001-8686\(95\)00289-8](https://doi.org/10.1016/0001-8686(95)00289-8)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Garti, N., & Bisperink, C. (1998). Double emulsions: Progress and applications. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 3(6), 657-667. doi: [https://doi.org/10.1016/S1359-0294\(98\)80096-4](https://doi.org/10.1016/S1359-0294(98)80096-4)
- Gerald, M., & Eric, D. (2017). Double Emulsions Relevant to Food Systems: Preparation, Stability, and Applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3), 532-555. doi: [doi:10.1111/1541-4337.12261](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12261)
- Gordon, A., & Barbut, S. (1992). Mechanisms of meat batter stabilization: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 32(4), 299-332. doi: [10.1080/10408399209527602](https://doi.org/10.1080/10408399209527602)
- Gutiérrez-Grijalva, E. P., Ambriz-Pérez, D. L., Leyva-López, N., Castillo-López, R.I. y J. Basilio Heredia. (2016). Review: dietary phenolic compounds, health benefits and bioaccessibility. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 66, No. 2, 87-100.
- Guzmán Maldonado, S. H., Mondragón Jacobo, C., Herrera Hernández Ma. G., Guevara Lara. F., Reynoso Camacho, R. (2009). El xoconostle un fruto con alto valor nutrimental y nutracéutico. Prácticas básicas para su producción. *Inifap*.
- Hallenstvedt, E., Øverland, M., Rehnberg, A., Kjos, N. P., & Thomassen, M. (2012). Sensory quality of short- and long-term frozen stored pork products. Influence of diets varying in polyunsaturated fatty acid (PUFA) content and iodine value. *Meat Sci*, 90(1), 244-251. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.07.006>
- Hemar, Y., Cheng, L. J., Oliver, C. M., Sanguansri, L., & Augustin, M. (2010). Encapsulation of Resveratrol Using Water-in-Oil-in-Water Double Emulsions. *Food Biophysics*, 5(2), 120-127. doi: [10.1007/s11483-010-9152-5](https://doi.org/10.1007/s11483-010-9152-5)
- Herbach, K. M., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2004). Impact of Thermal Treatment on Color and Pigment Pattern of Red Beet (*Beta vulgaris* L.) Preparations. *Journal of Food Science*, 69(6), C491-C498. doi: [doi:10.1111/j.1365-2621.2004.tb10994.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb10994.x)
- Hernández-Fuentes, A. D., Trapala-Islas, A., Gallegos-Vásquez, C., Campos-Montiel, R. G., Pinedo-Espinoza, J. M., & Guzmán-Maldonado, S. H. (2015). Physicochemical variability and nutritional and functional characteristics of xoconostles (*Opuntia* spp.) accessions from Mexico. *Fruits*, 70(2), 109-116.
- Huff Lonergan, E., Zhang, W., & Lonergan, S. M. (2010). Biochemistry of postmortem muscle - lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Sci*, 86(1), 184-195. doi: [10.1016/j.meatsci.2010.05.004](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.004)
- Isaza, Y. L. M., Restrepo Molina, D., López, J. H. V., Ochoa, O. A. G., & Cabrera Torres, K. (2011). *Evolution of the antioxidant capacity of Frankfurter sausage model systems with added cherry extract (Prunus avium L.) during refrigerated storage* (Vol. 18).
- J., R. C., & J., R. (2002). Emulsion Stability and Water Uptake Ability of Chicken Breast Muscle Proteins as Affected by Microbial Transglutaminase. *Journal of Food Science*, 67(2), 734-739. doi: [doi:10.1111/j.1365-2621.2002.tb10668.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10668.x)
- Jiménez-Colmenero, F. (2007). Healthier lipid formulation approaches in meat-based functional foods. Technological options for replacement of meat fats by non-meat fats. *Trends in Food Science & Technology*, 18(11), 567-578. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.05.006>
- Jiménez-Colmenero, F. (2013a). Emulsiones múltiples: compuestos bioactivos y alimentos funcionales. *Nutrición Hospitalaria*, 28, 1413-1421.
- Jiménez-Colmenero, F. (2013b). Potential applications of multiple emulsions in the development of healthy and functional foods. *Food Research International*, 52(1), 64-74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.02.040>
- Jin, S.-K., Ha, S.-R., Hur, S.-J., & Choi, J.-S. (2015). Effect of Various Herbal Medicine Extracts on the Physico-chemical Properties of Emulsion-type Pork Sausage. *Journal of Food and Nutrition Research*, 3(5), 290-296.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Kolanowski W. & Laufenberg, G. (2006). Enrichment of food products with polyunsaturated fatty acids by fish oil addition. *Eur Food Res Technol*, 222, 472-477. doi: 10.1007/s00217-005-0089-8
- Kosegarten Conde, C. E., y M.T. Jiménez Munguía. (2012). Factores principales que intervienen en la estabilidad de una emulsión doble. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6-2, 1-18.
- Lai, L., Kang, J. X., Li, R., Wang, J., Witt, W. T., Yong, H. Y., . . . Dai, Y. (2006). Generation of cloned transgenic pigs rich in omega-3 fatty acids. *Nat Biotechnol*, 24(4), 435-436. doi: 10.1038/nbt1198
- Lin, L., Allemekinders, H., Dansby, A., Campbell, L., Durance-Tod, S., Berger, A., & Jones, P. J. H. (2013). Evidence of health benefits of canola oil. *Nutrition Reviews*, 71(6), 370-385. doi: 10.1111/nure.12033
- Lopez-Varela, S., Gonzalez-Gross, M., & Marcos, A. (2002). Functional foods and the immune system: a review. *Eur J Clin Nutr*, 56 Suppl 3, S29-33. doi: 10.1038/sj.ejcn.1601481
- Lu, W., Kelly, A. L., & Miao, S. (2016). Emulsion-based encapsulation and delivery systems for polyphenols. *Trends in Food Science & Technology*, 47, 1-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.10.015>
- Márquez, A. L., Medrano, A., Panizzolo, L. A., & Wagner, J. R. (2010). Effect of calcium salts and surfactant concentration on the stability of water-in-oil (w/o) emulsions prepared with polyglycerol polyricinoleate. *Journal of Colloid and Interface Science*, 341(1), 101-108. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2009.09.020>
- McAfee, A. J., McSorley, E. M., Cuskelly, G. J., Moss, B. W., Wallace, J. M., Bonham, M. P., & Fearon, A. M. (2010). Red meat consumption: an overview of the risks and benefits. *Meat Sci*, 84(1), 1-13. doi: 10.1016/j.meatsci.2009.08.029
- McClements, D. J. (2010). Emulsion design to improve the delivery of functional lipophilic components. *Annu Rev Food Sci Technol*, 1, 241-269. doi: 10.1146/annurev.food.080708.100722
- McClements, D. J., Decker, E. A., Park, Y., & Weiss, J. (2009). Structural design principles for delivery of bioactive components in nutraceuticals and functional foods. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 49(6), 577-606. doi: 10.1080/10408390902841529
- McClements, D. J., Decker, E. A., & Weiss, J. (2007). Emulsion-based delivery systems for lipophilic bioactive components. *J Food Sci*, 72(8), R109-124. doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00507.x
- Min, B., Nam, K. C., Cordray, J., & Ahn, D. U. (2008). Endogenous factors affecting oxidative stability of beef loin, pork loin, and chicken breast and thigh meats. *J Food Sci*, 73(6), C439-446.
- Monroy, G. D. (2017). *Elaboración de un yogurt complementado con polifenoles de xoconostle estabilizados por una emulsión doble W1/O/W2 con el fin de enriquecerlo funcionalmente.* (MAestría).
- Morales, P., Ramírez-Moreno, E., Sanchez-Mata, M. d. C., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. F. R. (2012). Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber ex Diguët and *Opuntia matudae* Scheinvar) of high consumption in Mexico. *Food Research International*, 46(1), 279-285. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.12.031>
- Morr, C. V., & Ha, E. Y. (1993). Whey protein concentrates and isolates: processing and functional properties. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 33(6), 431-476. doi: 10.1080/10408399309527643
- Morrissey, P. A., Sheehy, P. J. A., Galvin, K., Kerry, J. P., & Buckley, D. J. (1998). Lipid stability in meat and meat products. *Meat Sci*, 49, S73-S86. doi: [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(98\)90039-0](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(98)90039-0)

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Naveen Kumar T. J., R. N., Kavitha Rajagopal. (2015). Technological and Health Impacts of Meat Based Functional Foods - A Review. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4, 475-481.
- Nazzaro, F., Orlando, P., Fratianni, F., & Coppola, R. (2012). Microencapsulation in food science and biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(2), 182-186. doi: <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.10.001>
- Olmedilla-Alonso, B., & Jiménez-Colmenero, F. (2014). Alimentos cárnicos funcionales: desarrollo y evaluación de sus propiedades saludables. *Nutrición Hospitalaria*, 29, 1197-1209.
- Olmedilla-Alonso, B., Jimenez-Colmenero, F., & Sanchez-Muniz, F. J. (2013). Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods. *Meat Sci*, 95(4), 919-930. doi: 10.1016/j.meatsci.2013.03.030
- Osorio-Esquivel, O., Alicia Ortiz, M., Álvarez, V. B., Dorantes-Álvarez, L., & Giusti, M. M. (2011). Phenolics, betacyanins and antioxidant activity in Opuntia joconostle fruits. *Food Research International*, 44(7), 2160-2168. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.011>
- Parra Huertas, R. A. (2010). REVISIÓN: MICROENCAPSULACIÓN DE ALIMENTOS. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 63, 5669-5684.
- Pérez-Alonso, C. (2015). *Stabilization of phenolic compounds from Opuntia oligacantha Först by microencapsulation with agave SAP (aguamiel)* (Vol. 14).
- Pimentel-González, D. J., Aguilar-García, M. E., Aguirre-Álvarez, G., Salcedo-Hernández, R., Guevara-Arauz, J. C., & Campos-Montiel, R. G. (2015). The Process and Maturation Stability of Chihuahua Cheese with Antioxidants in Multiple Emulsions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1027-1035. doi: doi:10.1111/jfpp.12317
- Pimentel-González, D. J., Campos-Montiel, R. G., Lobato-Calleros, C., Pedroza-Islas, R., & Vernon-Carter, E. J. (2009). Encapsulation of Lactobacillus rhamnosus in double emulsions formulated with sweet whey as emulsifier and survival in simulated gastrointestinal conditions. *Food Research International*, 42(2), 292-297. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.12.002>
- Post, M. J. (2012). Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. *Meat Sci*, 92(3), 297-301. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.008>
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición Hospitalaria*, 27, 76-89.
- Raes, K., De Smet, S., & Demeyer, D. (2004). Effect of dietary fatty acids on incorporation of long chain polyunsaturated fatty acids and conjugated linoleic acid in lamb, beef and pork meat: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 113(1), 199-221. doi: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2003.09.001>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med*, 26(9-10), 1231-1237.
- Reyes-Agüero, J. A., Aguirre R, J. R., & Valiente-Banuet, A. (2006). Reproductive biology of Opuntia: A review. *Journal of Arid Environments*, 64(4), 549-585. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.018>
- Reyes-Munguía, A., Azúara-Nieto, E., Beristain, C. I., Cruz-Sosa, F., & Vernon-Carter, E. J. (2009). Propiedades antioxidantes del maguey morado (Rhoeo discolor) Purple maguey (Rhoeo discolor) antioxidant properties. *CyTA - Journal of Food*, 7(3), 209-216. doi: 10.1080/19476330903010177
- Roberfroid, M. B. (2000). Prebiotics and probiotics: are they functional foods? *Am J Clin Nutr*, 71(6 Suppl), 1682S-1687S; discussion 1688S-1690S. doi: 10.1093/ajcn/71.6.1682S

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Sánchez-Muniz, F. J., Olivero-David, R., Triki, M., Salcedo, L., González-Muñoz, M. J., Cofrades, S., . . . Benedi, J. (2012). Antioxidant activity of *Hypericum perforatum* L. extract in enriched n-3 PUFA pork meat systems during chilled storage. *Food Research International*, 48(2), 909-915. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.002>
- Scollan, N., Hocquette, J. F., Nuernberg, K., Dannenberger, D., Richardson, I., & Moloney, A. (2006). Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Sci*, 74(1), 17-33. doi: 10.1016/j.meatsci.2006.05.002
- Schonfeldt, H. C., & Gibson, N. (2008). Changes in the nutrient quality of meat in an obesity context. *Meat Sci*, 80(1), 20-27. doi: 10.1016/j.meatsci.2008.05.025
- Serdaroglu, M., Ozturk, B., & Urgu, M. (2016). Emulsion characteristics, chemical and textural properties of meat systems produced with double emulsions as beef fat replacers. *Meat Sci*, 117, 187-195. doi: 10.1016/j.meatsci.2016.03.012
- Severini, C., De Pilli, T., & Baiano, A. (2003). Partial substitution of pork backfat with extra-virgin olive oil in 'salami' products: effects on chemical, physical and sensorial quality. *Meat Sci*, 64(3), 323-331. doi: 10.1016/s0309-1740(02)00204-8
- Sohail, A., Turner, M. S., Coombes, A., Bostrom, T., & Bhandari, B. (2011). Survivability of probiotics encapsulated in alginate gel microbeads using a novel impinging aerosols method. *Int J Food Microbiol*, 145(1), 162-168. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.12.007
- Tesoriere, L., Butera, D., Allegra, M., Fazzari, M., & Livrea, M. A. (2005). Distribution of betalain pigments in red blood cells after consumption of cactus pear fruits and increased resistance of the cells to ex vivo induced oxidative hemolysis in humans. *J Agric Food Chem*, 53(4), 1266-1270. doi: 10.1021/jf048134+
- Tharanathan, R. N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science & Technology*, 14(3), 71-78. doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00280-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00280-7)
- Toldrá, F. (2010). *Handbook of Meat Processing*: Wiley-Blackwell.
- Torres-Giner, S., Martinez-Abad, A., Ocio, M. J., & Lagaron, J. M. (2010). Stabilization of a Nutraceutical Omega-3 Fatty Acid by Encapsulation in Ultrathin Electrospayed Zein Prolamine. *Journal of Food Science*, 75(6), N69-N79. doi: doi:10.1111/j.1750-3841.2010.01678.x
- Velderrain-Rodriguez, G. R., Palafox-Carlos, H., Wall-Medrano, A., Ayala-Zavala, J. F., Chen, C. Y., Robles-Sanchez, M., . . . Gonzalez-Aguilar, G. A. (2014). Phenolic compounds: their journey after intake. *Food Funct*, 5(2), 189-197. doi: 10.1039/c3fo60361j
- Wang, B., Pace, R. D., Dessai, A. P., Bovell-Benjamin, A., & Phillips, B. (2002). Modified Extraction Method for Determining 2-Thiobarbituric Acid Values in Meat with Increased Specificity and Simplicity. *Journal of Food Science*, 67(8), 2833-2836. doi: doi:10.1111/j.1365-2621.2002.tb08824.x
- Wang, Y., Dave, R. N., & Pfeffer, R. (2004). Polymer coating/encapsulation of nanoparticles using a supercritical anti-solvent process. *The Journal of Supercritical Fluids*, 28(1), 85-99. doi: [https://doi.org/10.1016/S0896-8446\(03\)00011-1](https://doi.org/10.1016/S0896-8446(03)00011-1)
- Weiss, J., Gibis, M., Schuh, V., & Salminen, H. (2010). Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. *Meat Sci*, 86(1), 196-213. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.05.008
- Whitehurst, R. J. (2004). *Emulsifiers in Food Technology*. Northampton, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Whiting, R. C. (1987). Influence of Lipid Composition on the Water and Fat Exudation and Gel Strength of Meat Batters. *Journal of Food Science*, 52(5), 1126-1129. doi: doi:10.1111/j.1365-2621.1987.tb14024.x

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Wilde, P., Mackie, A., Husband, F., Gunning, P., & Morris, V. (2004). Proteins and emulsifiers at liquid interfaces. *Advances in Colloid and Interface Science*, 108-109, 63-71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2003.10.011>
- Wilson, D. W., Nash, P., Buttar, H. S., Griffiths, K., Singh, R., De Meester, F., . . . Takahashi, T. (2017). The Role of Food Antioxidants, Benefits of Functional Foods, and Influence of Feeding Habits on the Health of the Older Person: An Overview. *Antioxidants (Basel)*, 6(4). doi: 10.3390/antiox6040081
- Yogesh, K., Narayan, Y. D., Tanbir, A., & Kairam, N. (2015). Recent Trends in the Use of Natural Antioxidants for Meat and Meat Products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(6), 796-812. doi: doi:10.1111/1541-4337.12156
- Yu, W., Lin, J., Liu, X., Xie, H., Zhao, W., & Ma, X. (2010). Quantitative characterization of membrane formation process of alginate–chitosan microcapsules by GPC. *Journal of Membrane Science*, 346(2), 296-301. doi: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2009.09.049>

Anexos



LA SOCIEDAD MEXICANA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROPECUARIA, A.C.
Y
EL TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO-ROQUE

OTORGAN EL PRESENTE

RECONOCIMIENTO
A:

Néstor Santos Ordoñez, Roberto González Tenorio, Rubén Jiménez Alvarado, Abigail Reyes Munguía, Alma Delia Hernández Fuentes, Rafael G. Campos Montiel.

Por su presentación del cartel titulado:

EFEECTO DE LA INCORPORACIÓN DE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES DE ORIGEN NATURAL ENCAPSULADOS A UNA EMULSIÓN CÁRNICA

En el 50 Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria y 3er Simposium Internacional "Estrés biótico en plantas"

Del 21 al 23 de marzo de 2018

Roque, Celaya, Gto.

Dr. Juan Gabriel Ramírez Pimentel
Presidente de la SOMECTA

Mtro. Teodoro Villalobos Salinas
Director TECN M ROQUE


SOMECTA
Sociedad Mexicana de
Ciencia y Tecnología
Agropecuaria, A.C.

