



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**DESARROLLO DE PRODUCTOS CÁRNICOS ADICIONADOS
CON ÁCIDO LINOLÉICO CONJUGADO**

TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS**

PRESENTA

DENNIS MELISA PUGA VELÁZQUEZ



MÉXICO, D.F.

2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: M. EN C. Lucía Cornejo Barrera
VOCAL: DRA. Iliana Elvira González Hernández
SECRETARIO: M. EN C. Juan Carlos Ramírez Orejel
1er. SUPLENTE: M. EN C. Argelia Sánchez Chinchillas
2° SUPLENTE: Q.F.B. Rodolfo Fonseca Larios

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:
FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM.**

ASESOR DEL TEMA:

Juan Carlos Ramírez Orejel

SUSTENTANTE:

Dennis Melisa Puga Velázquez

Contenido

| | |
|--|----|
| Índice de tablas | 1 |
| Índice de Figuras..... | 2 |
| Introducción..... | 3 |
| Objetivos..... | 4 |
| Capítulo 1. Productos cárnicos como alimentos funcionales | 5 |
| 1.1 Alimentos Funcionales..... | 6 |
| 1.2 Diseño de alimentos funcionales..... | 8 |
| 1.3 Productos cárnicos como alimentos funcionales..... | 11 |
| Capítulo 2. Beneficios del CLA a la salud del consumidor y fuentes de CLA | 15 |
| 2.1 Beneficios del CLA a la salud del consumidor..... | 18 |
| 2.1.1 Anti carcinogénesis | 19 |
| 2.1.2 Efecto antioxidante | 20 |
| 2.1.3 Respuesta inmune..... | 21 |
| 2.1.4 Formación ósea | 22 |
| 2.1.5 Tratamiento de artritis reumatoide e inflamación..... | 24 |
| 2.1.6 Composición corporal..... | 26 |
| 2.1.7 Lípidos..... | 29 |
| 2.1.8 Antidiabetes..... | 30 |
| 2.1.9 Posibles efectos adversos del CLA | 31 |
| 2.2 Fuentes de CLA..... | 33 |
| 2.2.1 Consumo de CLA en la dieta humana | 33 |
| 2.2.2 Concentración de CLA en carne y sus derivados | 36 |
| 2.2.3 Factores que influyen el contenido de CLA en carne y productos cárnicos | 36 |
| Capítulo 3. El reto del desarrollo de productos cárnicos adicionados con ácidos n-3 y n-6 | 39 |
| 3.1 Composición general de ácidos grasos en la carne | 40 |
| 3.2 Factores a considerar durante el diseño de alimentos cárnicos con perfiles lipídicos modificados | 42 |
| 3.2.1 Alimentación del ganado | 43 |

| | |
|--|----|
| 3.2.2 Tipo de ganado..... | 45 |
| 3.2.3 Factores intrínsecos del ganado | 46 |
| 3.2.4 Efecto de la composición de ácidos grasos en las características de la carne | 50 |
| 3.2.5 Aplicación de tecnologías antioxidantes | 53 |
| 3.2.6 Efecto de los tratamientos tecnológicos en el perfil de ácidos grasos..... | 53 |
| 3.2.7 El reto de la aceptación del consumidor..... | 55 |
| Capítulo 4. El uso de CLA en productos cárnicos y repercusión sobre la vida de anaquel | 58 |
| 4.1 Efecto de la adición con CLA en las características de la carne | 58 |
| 4.2 Estabilidad oxidativa del CLA y la carne | 60 |
| Análisis final | 67 |
| Conclusiones | 73 |
| Bibliografía..... | 74 |

Índice de tablas

| | |
|--|----|
| TABLA 1 TENDENCIAS EN EL CONSUMO DE CARNE EN EL MUNDO SEGÚN LA OMS | 5 |
| TABLA 2 CONTENIDO NETO DE CLA EN PRODUCTOS CÁRNICOS | 34 |
| TABLA 3 CONTENIDO DE CLA EN PRODUCTOS LÁCTEOS | 34 |
| TABLA 4 CONTENIDO DE CLA EN PRODUCTOS LÁCTEOS MEXICANOS. | 35 |
| TABLA 5 CONTENIDO DE CLA EN CORTES DE CARNE MEXICANOS..... | 35 |
| TABLA 6 PH, ÍNDICES DE COLOR Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE <i>LONGISSIMUS</i> <i>LUMBORUM</i> EN CARNE DE CONEJO SUPLEMENTADA CON 0.0% Y 0.5% DE CLA | 58 |
| TABLA 7 EFECTOS DEL CLA ADMINISTRADO EN LA DIETA SOBRE EL PH, COLOR, Y PORCENTAJE DE GOTEADO EN CARNE DE CERDO | 59 |
| TABLA 8 CONTENIDO TOTAL Y ESPECÍFICO DE CLA Y SUS ISÓMEROS INDIVIDUALES EN CARNE DE OVEJA NO IRRADIADA (CONTROL) E IRRADIADA (7 kGY) | 65 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| FIGURA 1. ESTRUCTURA DEL ÁCIDO LINOLÉICO (1), DEL ISÓMERO CIS – 9, TRANS – 11 – CLA (2), Y DEL ISÓMERO TRANS – 10, CIS – 12 – CLA (3) | 15 |
| FIGURA 2. BIOSÍNTESIS DE CLA EN EL RUMEN | 17 |
| FIGURA 3. EFECTOS DE LAS FORMAS LIBRES, DIACILGLICÉRIDO Y TRIACILGLICÉRIDO EN EL CONTENIDO DE GRASA CORPORAL EN RATONES MACHO A LOS CUALES SE LES SUMINISTRÓ UNA DIETA CONTENIENDO 0.7% DE CLA DURANTE 4 SEMANAS. PROMEDIOS CON SUPERÍNDICE DIFERENTE INDICAN RESULTADOS DIFERENTES .. | 28 |
| FIGURA 4 CONTENIDO DE TBARS A TRAVÉS DEL TIEMPO EN CARNE DE CONEJO SUMINISTRADA CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE VITAMINA E Y CLA | 63 |

Introducción

La población mundial se ve cada vez más afectada por enfermedades crónico degenerativas como la obesidad y la diabetes, problemas que en parte pueden ser consecuencia de una alimentación deficiente. Un posible enfoque para combatir esto es la producción de alimentos funcionales, los cuales, más allá del aporte nutrimental, proporcionan beneficios fisiológicos y pueden reducir enfermedades crónicas.

La carne representa un buen nicho del mercado alimenticio para diseñar alimentos funcionales, ya que aporta numerosos nutrimentos y se consume ampliamente en algunos sectores de la población. Además, esto representaría una oportunidad para mejorar la imagen negativa que tiene otra parte de la población sobre la carne, ya que se asocia con altos consumos de grasa y sal.

Un ingrediente que ha demostrado tener propiedades benéficas en el cuerpo humano es el ácido linoléico conjugado (CLA). Se ha descubierto que el CLA ayuda a nivelar el contenido de grasa en el cuerpo, a reducir la diabetes, prevenir el cáncer y mejorar la respuesta inmune del cuerpo, por lo que el consumo de productos cárnicos adicionados con CLA puede contrarrestar la mala imagen que se tiene de estos productos al mismo tiempo que se coadyuvaría en la prevención y tratamiento de las enfermedades antes mencionadas.

Es por esto que el presente trabajo tiene como objetivo exponer los efectos que el consumo de ácido linoléico conjugado tiene sobre la salud del ser humano, y de esta forma explicar por qué su consumo es adecuado como ingrediente funcional. Asimismo, se propone cómo diseñar productos cárnicos funcionales adicionados con CLA, tomando en cuenta los beneficios y los posibles riesgos que este compuesto presenta para el ser humano, así como métodos para adicionar a los productos cárnicos el compuesto elegido, y la repercusión de éste sobre la vida de anaquel de los productos finales.

Objetivos

- Discutir los efectos que produce el consumo de ácido linoléico conjugado sobre la salud del ser humano, para justificar por qué su consumo es adecuado como ingrediente funcional.
- Exponer los motivos por los cuales la carne es una buena matriz para desarrollar alimentos funcionales adicionados con ácido linoléico conjugado.
- Evaluar las posibles variables que se pueden presentar en el desarrollo de alimentos cárnicos funcionales adicionados con ácido linoléico conjugado, así como la repercusión de éste sobre la vida de anaquel del producto.

Capítulo 1. Productos cárnicos como alimentos funcionales

Los hábitos alimenticios, así como las tendencias en producción y consumo de los alimentos tienen impacto sobre la sociedad, el ambiente, y la salud de la población (Cencic, y otros, 2010)

Según la Organización Mundial de la Salud, aproximadamente el 60% de las 56.5 millones de muertes que hubo en el mundo en 2001, fueron causadas por enfermedades crónicas, y se calcula que para el 2020 las enfermedades crónicas serán responsables del 75% de los fallecimientos alrededor del planeta. De estos decesos, casi la mitad se atribuyen a enfermedades cardiovasculares; la obesidad y la diabetes tipo II también son un problema grave (Givens, y otros, 2006).

A nivel mundial, el consumo de productos cárnicos se ha incrementado (Tabla 1), lo cual es resultado de la combinación del crecimiento de la población, la urbanización, así como un mayor poder adquisitivo. La carne representa una fuente de proteína de muy buena calidad y de otros nutrimentos indispensables en la dieta, sin embargo, también aporta una gran cantidad de ácidos grasos (especialmente saturados), lo que la convierte en un factor de riesgo para el desarrollo de enfermedades crónicas. Es importante destacar que, si la carne se consume con moderación, su aporte de ácidos grasos saturados no es nocivo (Givens, y otros, 2006).

Tabla 1. Tendencias en el consumo de carne en el mundo según la OMS

| Región | Carne (kg/persona/año) | | |
|--------------------------------|------------------------|-------------|-------------------|
| | 1964 – 1966 | 1977 – 1999 | 2030 (Proyección) |
| Mundo | 24.2 | 36.4 | 45.3 |
| Países en desarrollo | 10.2 | 25.5 | 36.7 |
| Países emergentes | 42.5 | 46.2 | 60.7 |
| Países industrializados | 61.5 | 88.2 | 100.1 |

(Givens, y otros, 2006)

Esto convierte a la carne y sus derivados en una excelente opción para crear alimentos funcionales, con el fin de buscar mejorar la salud de la población a través del consumo de un producto habitual en sus dietas, modificando el perfil de ácidos grasos para que éste tenga un efecto positivo en la salud, *versus* el negativo que puede tener actualmente. Cabe mencionar que este efecto negativo se presenta únicamente cuando el consumo de estos nutrimentos es excesivo.

1.1 Alimentos Funcionales

En los últimos años, los investigadores dentro de la industria alimenticia han identificado el desarrollo de alimentos funcionales como una de las áreas de mayor interés (Bigliardi, y otros, 2013). Los alimentos funcionales han surgido como una respuesta a la conciencia de la salud y la nutrición que han desarrollado los consumidores. Este tipo de alimentos es un enfoque nuevo que busca alcanzar un mejor estado de salud, reduciendo el riesgo de contraer enfermedades. (Harthwar, y otros, 2012).

La demanda por este tipo de alimentos ha aumentado en los últimos años debido al constante incremento en el costo del cuidado de la salud, el aumento en la esperanza de vida y el deseo de la gente mayor por mejorar su calidad de vida durante sus últimos años (Siró, y otros, 2008). De hecho, se ha visto que los consumidores de mayor edad tienen mayor disposición a consumir alimentos funcionales que aquellos consumidores más jóvenes (Siegrist, y otros, 2008; Siró, y otros, 2008).

Un alimento funcional es aquel que es similar en apariencia a un alimento convencional, consumido como parte de la dieta habitual, con beneficios fisiológicos demostrados, y/o que reduce el riesgo de contraer enfermedades crónicas, más allá de sus propiedades nutricionales básicas (Harthwar, y otros, 2012). Adicionalmente, el componente

funcional de los alimentos debe ser de origen natural (Zhang, y otros, 2010). Cabe mencionar que un alimento es considerado funcional por sus efectos y no por su origen, por lo tanto, la categoría de alimentos funcionales puede incluir alimentos naturales (es decir, que no se han modificado) y alimentos a los cuales se ha agregado o eliminado algún componente usando métodos biológicos o tecnológicos (Olmedilla - Alonso, y otros, 2013). Es importante destacar que en algunos casos, el ingrediente añadido no necesariamente tiene una función nutrimental. Por ejemplo, existen chicles a los que se les han añadido alcoholes derivados de azúcares para reducir el riesgo de desarrollar caries (Katan, 2004)

Se ha demostrado que muchas de las enfermedades crónicas más comunes, tales como enfermedades cardíacas, diabetes, cáncer, osteoporosis y obesidad, están relacionadas directamente con la alimentación, lo que quiere decir que muchos retos en el cuidado de la salud pueden mejorarse proactivamente mediante la producción de alimentos que tengan, además de un valor nutricional, un beneficio a la salud (Decker, y otros, 2010). Los alimentos funcionales pueden tener características tales como reducir el nivel de colesterol, actuar como antioxidantes en el cuerpo y evitar el cáncer (Harthwar, y otros, 2012).

La aceptación del consumidor hacia los alimentos funcionales depende de numerosas variables, tales como antecedentes sociales, económicos, geográficos, políticos, culturales y étnicos. El primer país donde se introdujeron y regularon este tipo de alimentos fue Japón, nación en la que entre 1988 y 1998 se introdujeron al mercado 1700 alimentos funcionales. Sin embargo, el país en el que el mercado de alimentos funcionales tiene un mayor dinamismo es Estados Unidos de América, donde la participación de mercado de estos productos fue de entre 4 y 6% en 2008 (Zhang, y otros, 2010). Según una encuesta realizada por

Euromonitor, Japón, Estados Unidos y las regiones del centro y norte de Europa contribuyen al 90% del total de las ventas mundiales de alimentos funcionales (Bigliardi, y otros, 2013). En contraste, los países mediterráneos prefieren alimentos frescos y naturales (Zhang, y otros, 2010).

1.2 Diseño de alimentos funcionales

Debido al incremento en la demanda de alimento funcionales, la industria alimenticia está en un constante proceso de investigación y desarrollo, reformulando productos para aumentar la funcionalidad de ingredientes inherentes al alimento o bien, añadiendo bioactivos con propiedades funcionales comprobadas (Harthwar, y otros, 2012). Sin embargo, el desarrollo de alimentos funcionales presenta numerosos retos. Por ejemplo, los ingredientes funcionales no deben impactar negativamente en el sabor, la textura y/o el color del alimento, además de que el precio debe ser razonable de manera que el público lo adquiera y consuma con regularidad.

Por otro lado, en varios países, como Estados Unidos, actualmente no está permitido indicar en las etiquetas el contenido de nutrimentos añadidos en productos tales como la carne, lo que obstaculiza la producción de alimentos funcionales ya que, al no poder anunciar la ventaja del producto, éste pierde competitividad en el mercado (Decker, y otros, 2010), debido a que el consumidor no experimenta los beneficios que pueda traer el consumo de alimentos funcionales de forma consciente (Siegrist, y otros, 2008).

Al desarrollar un alimento funcional, se deben tener en cuenta numerosos factores, tales como (Decker, y otros, 2010):

- ¿El compuesto bioactivo es consumido por debajo de las sugerencias de consumo para la población? En este punto es

importante destacar que, para algunos nutrimentos, como las vitaminas, sí existen ingestas recomendadas; en el caso de nutrimentos como el ácido linoleico conjugado, pueden no existir ingestas recomendadas, pero sí se pueden determinar dosis de consumo que permitan obtener un beneficio.

- ¿El compuesto bioactivo es consumido por un mercado clave?
- ¿Cuál es la evidencia de la eficacia del compuesto en humanos?
- ¿El compuesto se está utilizando en una forma biodisponible?
- ¿Cuál es la estabilidad del compuesto de interés en la matriz del alimento? Considerar estabilidad oxidativa, a la luz, al calor y a las enzimas inherentes del alimento, así como sensibilidad al pH.
- ¿Cuál es el impacto del compuesto bioactivo en las características sensoriales del alimento? Está demostrado, por ejemplo, que los consumidores no están dispuestos a sacrificar el sabor del alimento por un beneficio a su salud (Siegrist, y otros, 2008).
- ¿Existe una fuente GRAS (*Generally Regarded as Safe*) del compuesto bioactivo de interés que se pueda utilizar, considerando costos?
- ¿Existe alguna restricción en la regulación del ingrediente de interés?
- ¿Se puede hacer un *claim* (leyenda en el etiquetado que indique una ventaja o valor agregado en el producto) sobre los beneficios a la salud del compuesto bioactivo, de manera que se pueda comunicar su ventaja al consumidor?

Otros factores que se deben considerar son los procesos aplicados en la producción y empaqueo del producto, por ejemplo: fermentación, estabilidad, encapsulación, tecnología de secado, tratamientos térmicos y envasado (Decker, y otros, 2010). En resumen, al diseñar un alimento funcional, deben tomarse en cuenta todas las etapas, desde la

producción animal hasta el proceso de elaboración y comercialización del producto (Arihara, 2006).

Existen dos métodos para incorporar materiales funcionales dentro de los alimentos (Harthwar, y otros, 2012):

- a) Administración directa: el ingrediente funcional se incorpora directamente a la dieta del consumidor. Esto significa que el ingrediente funcional se añade durante el proceso tecnológico de manufactura a productos industrializados. Esta vía implica importantes regulaciones, por lo que es un método restringido y difícil de utilizar.
- b) Administración indirecta: el objetivo es que el ingrediente funcional se consuma a través de productos provenientes de animales en la dieta. Es un método más factible, sin embargo, la efectividad de la absorción del ingrediente funcional por el animal debe ser comprobada antes de poder hacer un *claim*.

Dos factores importantes que definen el éxito de un alimento funcional son la efectividad y la conformidad. La efectividad se refiere a la habilidad del alimento de intervenir en las rutas metabólicas de manera que mejoren la salud, mientras que la conformidad tiene que ver con la propensión del consumidor a consumir el alimento que promueve la salud. La conformidad tiene especial importancia ya que no importa qué tan efectivo sea el producto, su efectividad no tendrá valor si la conformidad es mala (Decker, y otros, 2010).

En relación con la conformidad, se ha visto que los consumidores no perciben los alimentos funcionales como una categoría homogénea, sino que evalúan cada uno por separado. Esta evaluación se ve influenciada por varios factores. Uno de ellos es la matriz que contiene el ingrediente funcional: se ha visto que los consumidores se sentirán más inclinados

por comprar un alimento que promueva la salud cuando éste es percibido como "sano" que cuando no lo es, por ejemplo, si un yogurt y un chocolate contienen el mismo ingrediente funcional, el consumidor preferirá el yogurt, ya que lo considera mejor para su salud (Siegrist, y otros, 2008).

Otro factor que afecta la conformidad del consumidor es la recompensa que éste percibe que recibirá al consumir el alimento funcional, además de la confianza que el consumidor tiene en la industria. Si el consumidor no confía en la industria alimenticia, no creerá en el beneficio que el alimento funcional pueda aportarle, y no lo adquirirá. Además, el procesamiento que lleve el alimento, así como las creencias culturales del consumidor tendrán un impacto en la aceptación del producto (Siegrist, y otros, 2008).

1.3 Productos cárnicos como alimentos funcionales

Debido a que algunos consumidores tienen la creencia de que la carne tiene un alto contenido de grasa y sal, y a que la carne se relaciona con el desarrollo de cáncer e hipertensión, los productos cárnicos tienen una mala imagen en algunos sectores de la población. Sin embargo, es importante mencionar que esta imagen que algunos consumidores tienen de la carne no toma en cuenta el hecho de que este producto juega un papel importante en el mantenimiento de la salud de los seres humanos (Arihara, 2006). Es por ello que los alimentos funcionales constituyen una gran oportunidad para la industria cárnica para mejorar la imagen y la calidad de la carne. De este modo, se puede prevenir la pérdida de mercado debido a una imagen negativa, mientras se desarrolla una diversificación en el sector (Olmedilla - Alonso, y otros, 2013).

El desarrollo de alimentos cárnicos funcionales tiene diversos objetivos, entre los cuales se encuentran la suplementación con antioxidantes (por ejemplo, α -tocoferol, nutrimento que al consumirse por arriba de su ingesta diaria recomendada se vuelve ingrediente funcional. Cabe mencionar que esta ingesta recomendada oscila entre 4 y 19 mg/día, dependiendo de la edad de quien la consume) (Moser, y otros, 2006). Otras modificaciones que pueden hacerse a los alimentos cárnicos son la reducción de contenido graso para disminuir la incidencia de ciertas enfermedades, y la suplementación con ácidos grasos omega 3, tales como el ácido linoléico conjugado (CLA por sus siglas en inglés) (Khan, y otros, 2011).

La carne es un alimento excelente para usarse como matriz para aportar compuestos bioactivos sin cambiar hábitos alimenticios del consumidor, debido a la cantidad y frecuencia de su consumo entre algunos grupos de la población, a la aportación de nutrimentos que da, a la diversidad de presentaciones que existen y a la aceptación que tiene el consumidor por la carne. Adicionalmente, la tendencia global muestra un aumento en el consumo de carne (especialmente en países desarrollados), mismo que está directamente relacionado con un mayor poder adquisitivo de los consumidores. (Olmedilla - Alonso, y otros, 2013).

Para poder diseñar un alimento funcional basado en carne, es necesario entender los efectos en la salud de sus componentes. La carne contiene ácidos grasos saturados, colesterol y sal, también es una excelente fuente de nutrimentos tales como proteínas, minerales como hierro y zinc, L-carnitina, y glutatión (Olmedilla - Alonso, y otros, 2013). Inclusive, algunos de estos compuestos, como el hierro y la vitamina B12, no están presentes o su biodisponibilidad es menor en otros productos, por lo que la carne es una de las fuentes más adecuadas para obtener estos nutrimentos (Arihara, 2006). De hecho, en la

población vegana es común un desbalance en el consumo de algunas vitaminas y nutrimentos inorgánicos, especialmente riboflavina, vitamina B12 y selenio (Biesalski, 2005). Es por ello que, en relación a los nutrimentos inorgánicos mencionados, la carne por si misma puede ser considerada un alimento funcional, aún sin la adición de compuestos bioactivos ni la aplicación de un tratamiento especial (Olmedilla - Alonso, y otros, 2013). Otro beneficio que presenta la carne es que su proteína es menos alergénica que la de muchos otros alimentos, como el huevo, la leche y la soya (Khan, y otros, 2011).

Algunas de las modificaciones que se pueden hacer en carne y sus derivados para hacerlos alimentos funcionales son:

- Adición de fibra y reducción de colesterol y energía, generando carne baja en grasa.
- Control del contenido de sodio, mediante la sustitución parcial del cloruro de sodio con ascorbato de calcio.
- Incorporación de antioxidantes naturales, tales como carotenoides vegetales, flavonoides, caseína, y algunas fibras, como la celulosa.
- Modificación del perfil lipídico.

El uso de ingredientes funcionales es uno de los métodos que se pueden aplicar para desarrollar alimentos cárnicos funcionales (Arihara, 2006). Como se ha mencionado con anterioridad, en el desarrollo de alimentos funcionales deben considerarse varios factores, entre los que se encuentra la ingesta diaria y la deficiencia del ingrediente funcional que exista en la dieta de una determinada región. En el caso de productos cárnicos funcionales, se pueden agregar nutrimentos indispensables en la dieta como vitaminas A, E y C, y nutrimentos inorgánicos como magnesio, calcio y potasio. Otros compuestos con los que puede adicionarse la carne son fibra dietética, ácidos grasos omega 3 de

cadena larga, péptidos bioactivos, antioxidantes, probióticos, prebióticos y CLA (Khan, y otros, 2011).

Capítulo 2. Beneficios del CLA a la salud del consumidor y fuentes de CLA

El término "ácido linoléico conjugado" (CLA por sus siglas en inglés: *conjugated linoleic acid*) se refiere a un conjunto de isómeros posicionales y geométricos del ácido linoléico, mismos que se pueden encontrar en leche, productos lácteos, carne y productos cárnicos provenientes de rumiantes, cuya característica es que los dobles enlaces se encuentran conjugados, en lugar de separados por metilenos (Benjamin, y otros, 2009; Joo, y otros, 2007). Entre los isómeros posicionales se encuentran los 7,9; 8,10; 9,11; 10,12; y 11,13; mientras que el espectro de isómeros geométricos abarca conformaciones cis-cis, cis-trans, trans-trans y trans-cis. (Schmid, y otros, 2006).

La Figura 1 muestra la estructura del ácido linoléico y los dos isómeros más importantes del CLA.

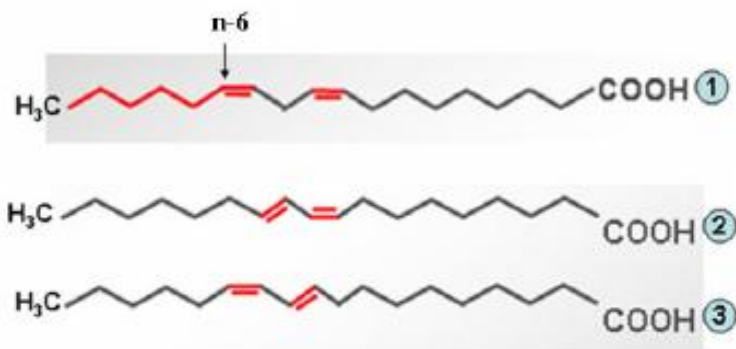


Figura 1. Estructura del ácido linoléico (1), del isómero cis - 9, trans - 11 - CLA (2), y del isómero trans - 10, cis - 12 - CLA (3). (Benjamin y otros , 2009)

El CLA se encuentra en numerosos productos de origen animal, incluyendo lácteos, carne de res, cerdo y aves, así como mariscos y aceites vegetales. (Joo, y otros, 2007).

Se ha reportado que los productos provenientes de rumiantes, especialmente los lácteos, contienen hasta 25 isómeros de CLA, siendo los predominantes los isómeros *cis-9, trans -11*-CLA (ácido ruménico) y *trans-10, cis-12*-CLA. (Oleszczuck, y otros, 2012). El isómero *cis-9, trans-11*-CLA representa hasta el 80 a 85% del CLA total presente en los alimentos (Decker, y otros, 2010). Cabe mencionar que las preparaciones comerciales de CLA generalmente están compuestas en un 90% por una combinación de los isómeros *c9, t11*-CLA y *t10, c12*-CLA, generalmente en un 45% cada uno (Park, y otros, 2007).

Estos isómeros, especialmente el ácido ruménico, se sintetizan en el rumen del ganado, venados, ovejas y cabras por biotransformación y/o fermentación de ácidos grasos insaturados derivados del forraje, tales como el ácido oleico y el ácido linoléico, así como a través de la acción de *Butyrivibrio fibrisolvens*, que provoca la $\Delta 9$ -desaturación del ácido *trans-11*-octadecanoico (o ácido *trans*-vaccénico). (Oleszczuck, y otros, 2012).

La Figura 2 muestra un mecanismo propuesto para la biosíntesis del isómero *c9, t11*-CLA en el rumen (Schmid, y otros, 2006).

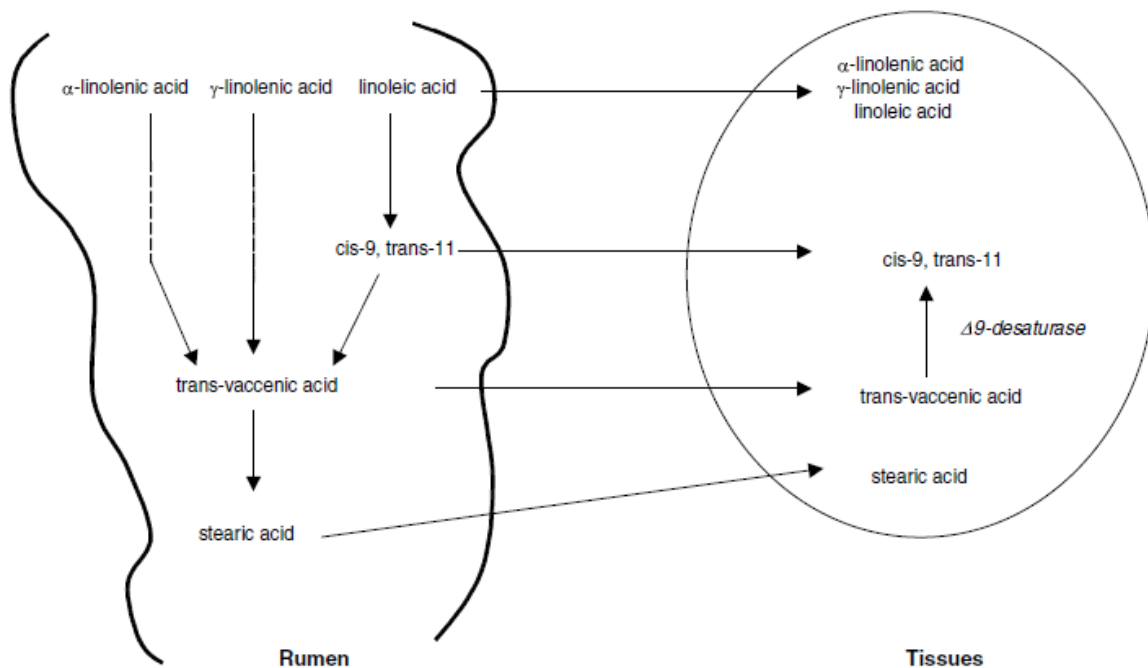


Figura 2. Biosíntesis de CLA en el rumen (Schmid, y otros, 2006).

Se ha demostrado que el pH del rumen afecta directamente la isomerización y biohidrogenación de los ácidos poliinsaturados, afectando así la producción de CLA. (Schmid, y otros, 2006).

El CLA consumido en la dieta se absorbe en los fosfolípidos tanto adiposos como de membrana, y la acumulación del CLA en el tejido animal depende del tipo de dieta suministrada y su duración (Joo, y otros, 2007).

Cabe mencionar que la síntesis endógena de CLA se produce tanto en los animales rumiantes como en los no rumiantes; sin embargo, esta producción es mucho mayor en rumiantes debido a la biohidrogenación de ácidos grasos poliinsaturados en el rumen. (Schmid, y otros, 2006).

2.1 Beneficios del CLA a la salud del consumidor

El interés por los efectos benéficos del CLA se remonta a 1985, cuando Pariza y sus compañeros detectaron que la carne roja contiene un componente que presenta propiedades anticancerígenas (Pariza, y otros, 1985). A partir de entonces, el CLA ha sido objeto de numerosas investigaciones, mismas que han demostrado que los beneficios del CLA van más allá de las propiedades halladas por Pariza y colaboradores (Huang, y otros, 2007).

Mediante la extrapolación de estudios animales, se ha calculado que un consumo de entre 3.0 y 3.5 gramos de CLA al día es lo ideal para promover beneficios a la salud del ser humano. (Schmid, y otros, 2006).

En un estudio con duración de 24 meses, se evaluó el efecto de la suplementación con 3.4 g por día de CLA en 134 humanos adultos con sobrepeso, usando una mezcla 1:1 de los isómeros *cis-9, trans -11-CLA* y *trans-10, cis-12-CLA*.

El estudio reveló que la suplementación favoreció la pérdida de peso y grasa corporal, y aumentó el nivel de trombocitos en la sangre, así como el porcentaje de proteína en la composición corporal. Por otro lado, el colesterol total y LDL del plasma sanguíneo disminuyó, mientras que el colesterol HDL y los triglicéridos no reportaron cambio. (Benjamin, y otros, 2009; Gaullier, y otros, 2005).

A continuación se tratarán más a fondo los beneficios que aporta la suplementación con CLA. Cabe mencionar que prácticamente todos los estudios realizados se han enfocado en los isómeros *c9, t11-CLA* y *t10, c12-CLA*, ya que son los más abundantes en la naturaleza. Además, se ha encontrado que estos dos isómeros tienen efectos aditivos, independientes, e incluso antagónicos en la salud del consumidor, por lo que es importante analizar el efecto de cada uno (Park, y otros, 2007).

2.1.1 Anti carcinogénesis

Se ha encontrado que el CLA tiene efectos anti carcinogénicos en varias etapas del desarrollo del cáncer, incluyendo iniciación, progresión y metástasis (Rainer, y otros, 2004). Estudios en modelos animales reportan que el consumo de CLA inhibe los tumores inducidos químicamente en glándulas mamarias, piel y colon, así como la metástasis peritoneal de células cancerígenas humanas en estómago y colon en roedores. (Oleszczuck, y otros, 2012).

A pesar de que los mecanismos de acción no están dilucidados, existe la posibilidad de que el CLA presenta este efecto anti carcinogénico debido a la modulación de la apoptosis y el ciclo celular (inhibiendo las ciclinas D y A, y regulando la expresión de p53, la cual es una proteína supresora de tumores (Oleszczuck, y otros, 2012; Gudkov, y otros, 2011)), además de que el CLA tiene la habilidad de interrumpir el camino metabólico de los ácidos grasos n-6 para la biosíntesis de eicosanoides, los cuales pueden modular la proliferación de células tumorales en el epitelio (Benjamin, y otros, 2009; Wang, y otros, 2010). Esto puede deberse a que el CLA puede incorporarse a los fosfolípidos de la membrana celular, reemplazando el ácido araquidónico. De este modo, se reduce la disponibilidad de ácido araquidónico necesario para la síntesis de eicosanoides (Huang, y otros, 2007).

Se ha encontrado que esta inhibición de los tumores depende de la concentración de CLA que se consume en la dieta, misma que varía entre 0.05% y 1.0%, sin embargo, consumos de más del 1% de CLA no aumentan la actividad anticancerígena. Adicionalmente, en estudios animales se ha encontrado que la duración de la suplementación con CLA y el momento en que se administra juegan un papel importante en la actividad anti cancerígena. (Oleszczuck, y otros, 2012).

Existe la hipótesis de que consumir 95 mg de CLA por día es suficiente para reducir el cáncer de mama en mujeres. Otros investigadores han postulado que se necesitan 620 mg CLA/día y 441 mg CLA/día para tener una protección efectiva contra el cáncer en hombres y mujeres, respectivamente, aunque cabe mencionar que todos estos cálculos se han hecho extrapolando datos de estudios en animales. (Schmid, y otros, 2006).

Es importante destacar que las mezclas de CLA provenientes de rumiantes tienen una mayor capacidad de inhibir la proliferación de células cancerígenas que preparaciones sintéticas (Oleszczuck, y otros, 2012).

El beneficio aportado por el efecto anti cancerígeno del CLA resulta controversial, ya que el CLA también ayuda con la pérdida de peso, lo cual es un problema grave en pacientes con cáncer (Oleszczuck, y otros, 2012).

2.1.2 Efecto antioxidante

Estudios *in vitro* e *in vivo* han demostrado que el CLA es un antioxidante tan efectivo como el BHT, más potente que el α -tocoferol y aproximadamente dos veces más efectivo que el beta-caroteno. Dentro del cuerpo, el CLA puede ser tomado por los fosfolípidos, donde participa en la composición de la estructura de la membrana celular, protegiendo así a la célula del efecto de peróxidos (Huang, y otros, 2007).

Además, se ha reportado que la autooxidación del CLA genera furanos que pueden proteger a las células contra ataques de peróxidos, lo cual podría jugar un papel importante en el poder anticancerígeno que se le atribuye al CLA (Hah, y otros, 2006; Joo, y otros, 2007).

Sin embargo, este poder antioxidante parece ser dependiente de la dosis y los isómeros de CLA administrados. Flintoff-Dye y Stanley encontraron en un estudio *in vitro* que, al añadir diferentes dosis de CLA a plasma sanguíneo, en dosis bajas (2 $\mu\text{mol CLA/L}$ plasma), el CLA actúa como prooxidante, afectando a las lipoproteínas LDL. Por el contrario, al aumentar la dosis (6.3 $\mu\text{mol CLA/L}$ plasma para el isómero *t10, c12*-CLA y 9.3 $\mu\text{mol CLA/L}$ plasma para el isómero *c9, t11*-CLA), el efecto es antioxidante. Al aumentar más la dosis (20 $\mu\text{mol CLA/L}$ plasma para ambos isómeros), el efecto del CLA sobre las lipoproteínas LDL vuelve a ser prooxidante (Joo, y otros, 2007; Flintoff-Dye, y otros, 2005).

Por otro lado, se ha encontrado que el CLA reduce la cantidad de enzimas antioxidantes como la catalasa, superóxido dismutasa y glutatión peroxidasa, y que el consumo de 1% CLA libre total en la dieta de ratas induce la peroxidación de los lípidos del hígado. Adicionalmente, se ha visto que las reacciones oxidativas pueden influenciar el contenido de CLA, ya sea por formación de radicales de ácido linoléico, que pueden convertirse en CLA con la ayuda de donadores de hidrógeno, o bien, causando la destrucción oxidativa del sistema de enlaces conjugados del CLA. Es importante mencionar que de estos efectos, parece ser que el más significativo es la acción antioxidante; aunque debido a los efectos prooxidantes que se le han atribuido también al CLA, es importante investigar más a fondo sus propiedades antioxidantes y prooxidantes, sobre todo en estudios *in vivo* (Joo, y otros, 2007).

2.1.3 Respuesta inmune

Se ha reportado que el CLA regula de manera positiva la función humoral debido al aumento en la producción de linfocitos del bazo por IgG, IgM e IgA, dependiendo de la dosis. Además, reduce la función de

los macrófagos mediante la disminución de la síntesis de mediadores de inflamación y/o enzimas inflamatorias (Oleszczuck, y otros, 2012).

Cabe mencionar que el consumo de CLA reduce a la IgE, la cual juega un papel importante en reacciones alérgicas de tipo I (Oleszczuck, y otros, 2012).

En 2003 se encontró que el isómero *t*10, *c*12 CLA es el responsable del efecto del consumo de CLA en la producción de inmunoglobulina. Posteriormente se determinó que el isómero *c*9, *t*11 CLA aumenta la síntesis de anticuerpos y disminuye la habilidad proliferativa esplenocitos en ratas (Oleszczuck, y otros, 2012).

Por otro lado, se ha demostrado que el CLA protege los tejidos de desgaste por estimulación inmune durante periodos de enfermedad severa (Benjamin, y otros, 2009). La suplementación con CLA mejora la respuesta inmune a antígenos virales y bacteriales, lo que puede ser especialmente benéfico para pacientes inmunodeprimidos. Para estos pacientes, así como para pacientes de la tercera edad, se ha propuesto utilizar el CLA como adyuvante oral al aplicar vacunas, sin embargo, se necesita más investigación al respecto.

El CLA disminuye la respuesta inmune innata ya que disminuye la actividad de monocitos y macrófagos, así como la producción de prostaglandinas.

A pesar de que los mecanismos de acción del CLA sobre el sistema inmune aún no están claros, no hay duda de que el CLA tiene un efecto positivo en la respuesta innata y adaptativa (Oleszczuck, y otros, 2012).

2.1.4 Formación ósea

El hueso es un tejido que está en constante remodelación. Los osteoclastos destruyen el hueso mientras que los osteoblastos forman el

hueso; estas dos actividades están en un constante balance a lo largo de la vida. Cuando los osteoclastos actúan con mayor rapidez que los osteoblastos, se desarrolla la osteoporosis, enfermedad caracterizada por pérdida ósea y fragilidad en el esqueleto (Hur, y otros, 2007).

El consumo de CLA mejora la absorción ósea del calcio de la dieta, mejora la formación de huesos y reduce la resorción ósea en ratas. Se ha reportado que el consumo de CLA afecta el metabolismo de los huesos mediante la modulación de la producción de citosinas de resorción (Hur, y otros, 2007). Ya que el CLA puede afectar las citosinas inflamatorias, se ha especulado que el CLA puede ser una herramienta útil para la prevención o reducción de los síntomas de artritis reumatoide en humanos (Benjamin, y otros, 2009).

Sin embargo, es importante mencionar que los estudios han sido inconsistentes. Mientras algunos autores han hallado que el consumo de CLA aporta los beneficios ya mencionados, otros no han encontrado efectos sobre la masa ósea. Incluso, algunos investigadores han detectado efectos negativos del consumo de CLA sobre la formación ósea, como un impacto negativo en algunos parámetros que indican formación ósea, por ejemplo, la función de la osteocalcina. Los resultados de todas estas investigaciones parecen indicar que los efectos del CLA en la dieta dependen de la composición de los isómeros, el tipo de lípidos que componen los ácidos grasos poliinsaturados suministrados, y la etapa de desarrollo en la que se encuentran los sujetos en estudio (Hur, y otros, 2007).

Otro posible mecanismo mediante el cual el CLA influye en la formación ósea es por su acción sobre la leptina. Ésta es una hormona que regula la remodelación ósea. La leptina impacta negativamente la formación ósea, afectando la masa de los huesos a través del sistema nervioso

central, o bien, ejerciendo un efecto osteogénico en células de la médula, inhibiendo a los osteoblastos. Debido a su acción sobre los adipocitos, el CLA reduce los niveles de leptina, ya que reduce los niveles de tejido adiposo (Hur, y otros, 2007).

El último mecanismo de modulación de formación ósea sugerido se basa en que el CLA puede reducir los niveles de prostaglandina E₂ en los huesos. Ésta es un tipo de eicosanoide, mismos que, bajo ciertas circunstancias, han sido asociados con varios procesos patofisiológicos tales como generación de tumores y enfermedades inflamatorias crónicas. La prostaglandina E₂ se produce por los osteoblastos en los huesos y es un potente estimulante de la resorción ósea. El CLA puede reducir los niveles de prostaglandina E₂ mediante la limitación del ácido araquidónico en la fracción fosfolipídica (este ácido es el principal precursor de los eicosanoides) y la inhibición de la ciclooxygenasa (la cual juega un papel importante en la síntesis de la prostaglandina E₂ a partir del ácido araquidónico) (Hur, y otros, 2007).

Además, se ha visto que el isómero *cis-9, trans-11*-CLA aumenta la formación de nódulos mineralizados en huesos (Benjamin, y otros, 2009). Por su parte, el isómero *trans-10, cis-12*-CLA reduce la lipogénesis en adipocitos, lo cual convierte al CLA en un buen candidato para controlar los adipocitos de los huesos ya que los adipocitos de la médula ósea se relacionan con una disminución en la formación ósea (Hur, y otros, 2007).

2.1.5 Tratamiento de artritis reumatoide e inflamación

La artritis reumatoide es una enfermedad inflamatoria que afecta a aproximadamente el 1% de la población adulta. Esta enfermedad se caracteriza por la inflamación de las articulaciones sinoviales. La progresión de la artritis reumatoide está asociada con la activación de

células T infiltradas a través de células que presentan antígenos, como los macrófagos, o bien, a través de las citosinas. Estas últimas pueden regular tanto la respuesta inflamatoria como la actividad de diversos tejidos conectivos, por lo que juegan un papel importante en la artritis reumatoide y en el daño óseo.

El tratamiento para la artritis reumatoide tiene dos vertientes: tratamiento de los síntomas con medicamento antiinflamatorios de tipo no esteroideo, y tratamiento con medicamentos anti reumáticos, que modifican la enfermedad. Debido al potencial que poseen las citosinas en la respuesta inflamatoria, existe un gran interés en crear un tratamiento para la artritis que se enfoque en las citosinas inflamatorias.

Es por esto que existe interés en el papel del consumo de CLA en el tratamiento de la artritis reumatoide, ya que se ha visto que el CLA impacta directamente en el nivel de macrófagos/monocitos, responsables de la producción de la mayoría de las citosinas inflamatorias. Por lo tanto, el consumo de CLA puede reducir los niveles de TNF- α , la cual es la citosina principal involucrada en la inflamación, y juega un papel crucial en la patogénesis de la artritis, ya que promueve la degradación del tejido y está involucrada en la inducción de un estado crónico de inflamación.

Se ha visto que los dos isómeros principales del CLA, *cis-9, trans-11-CLA* y *trans-10, cis-12-CLA*, reducen los niveles de TNF- α en macrófagos, sin embargo, es el isómero *c9, t10 - CLA* el que tiene un efecto mayor.

Otro mecanismo propuesto mediante el cual el CLA puede intervenir en los procesos inflamatorios, es a través de los receptores proliferadores activados por peroxisomas (PPARs), los cuales son una familia de receptores nucleares que regulan la expresión de los genes involucrados

en la homeostasis energética y en la función inmune. Por lo tanto, estos receptores están involucrados en la regulación de la expresión de genes involucrados en el proceso inflamatorio. Se ha visto que el CLA inhibe al PPAR- γ en tejido adiposo; sin embargo, el efecto es opuesto en músculos y macrófagos: el CLA activa el PPAR- γ , por lo que se inhibe la producción de citosinas inflamatorias, como la ya mencionada TNF- α .

Otros estudios indican que el CLA podría tener efecto antiinflamatorio debido a que ejerce efectos directos o bien indirectos sobre la actividad y expresión de la ciclooxigenasa, reduciendo así la producción de la prostaglandina E₂, la cual, como ya se ha mencionado, está asociada con enfermedades inflamatorias crónicas (Hur, y otros, 2007).

2.1.6 Composición corporal

Se ha informado que el CLA modula la composición corporal, reduciendo el contenido de grasa, posiblemente mediante la supresión del apetito, lo que genera una disminución en el consumo de energía. Adicionalmente, el CLA puede aumentar el gasto energético en tejido adiposo, músculos e hígado. Este aumento en el gasto energético se ve reflejado en un aumento en el consumo de oxígeno, y por un aumento en la expresión de proteínas no pareadas del CLA (Oleszczuck, y otros, 2012; Park, y otros, 2007).

El CLA suprime la lipogénesis, y estimula la lipólisis y la apoptosis de los adipocitos. Algunos de los posibles mecanismos mediante los cuales el CLA reduce las células adiposas son inhibición de la actividad de la esteroil CoA desaturasa (enzima que limita la velocidad a la cual se da la desaturación de ácidos grasos, generando ácidos grasos monoinsaturados, los cuales son el substrato principal para la deposición de grasa en los tejidos) e inhibición de la lipasa lipoproteínica, la cual en parte es responsable de la acumulación de grasa. Está confirmado que

el isómero responsable de esta reducción en la grasa corporal es el *t*10, *c*12-CLA (Oleszczuck, y otros, 2012; Rainer, y otros, 2004; Park, y otros, 2007).

Adicionalmente, se ha sugerido que la acción del CLA sobre los adipocitos está relacionada con su interacción con el PPAR- γ , el cual controla el metabolismo lipídico en el tejido adiposo y regula la diferenciación, proliferación y lipogénesis de los adipocitos, por lo que una reducción en su actividad explicaría una reducción en el contenido graso del cuerpo.

Por otro lado, se ha visto que el CLA reduce la expresión y secreción de leptina debido a la reducción del tejido adiposo. Además, el ácido linoléico conjugado aumenta la adiponectina y reduce la TNF- α , lo cual podría ayudar a mejorar la sensibilidad a la insulina. Además, parece ser un mediador clave en numerosas patologías crónicas como la obesidad (Park, y otros, 2007).

Finalmente, el CLA aumenta la β -oxidación de los ácidos grasos en los músculos; esto puede explicarse con el hecho de que el CLA ocasiona que los ácidos grasos se usen como fuente primaria de energía, reduciendo los depósitos de grasa.

Se ha probado la efectividad para reducir la grasa corporal del CLA en forma de triacilglicérido y diacilglicérido, y se encontró que estas formas tienen el mismo efecto en la composición corporal que las formas libres del CLA, como se muestra en la Figura 3. Sin embargo, derivados del CLA sin carboxilo no tienen efecto en el metabolismo (Park, y otros, 2007).

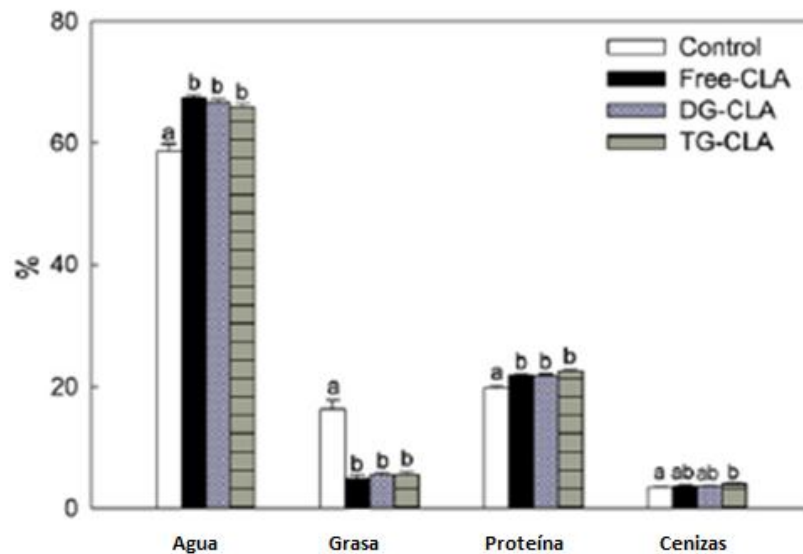


Figura 3. Efectos de las formas libres, diacilglicérido y triacilglicérido en el contenido de grasa corporal en ratones macho a los cuales se les suministró una dieta conteniendo 0.7% de CLA durante 4 semanas. Promedios con superíndice diferente indican resultados diferentes (Modificado de Park, y otros, 2007)

La suplementación diaria en humanos durante 6 meses con 3.4 g de CLA ha resultado en disminución del porcentaje de grasa corporal y un aumento en el porcentaje de proteína. Estudios en animales tales como cerdos y roedores han mostrado que los efectos del CLA en la composición corporal se deben en parte a la reducción de la deposición de grasa y a un aumento en la lipólisis en los adipocitos, posiblemente combinado con un aumento en la oxidación de los ácidos grasos tanto en células musculares como en adipocitos. (Benjamin, y otros, 2009; Syversten, y otros, 2007).

Los efectos antes mencionados se han estudiado y comprobado en ratones. Sin embargo, al hacer experimentos con humanos se ha notado que la efectividad del CLA para reducir el contenido de grasa corporal es menor que el reportado en estudios realizados con modelos animales. Esto puede deberse a que las dosis administradas en humanos han sido mucho menores que aquellas administradas a roedores. Otra explicación

pueden ser las diferencias que existen en el metabolismo de las diferentes especies. Por último, esta baja efectividad del CLA para reducir el contenido de grasa puede deberse a que las dietas en humanos eran variadas y en muchos casos, con déficit energético, mientras que la dieta administrada a roedores era controlada y proporcionada *ad libitum*. De hecho, en estudios con ratones se vio que si la dieta aplicada era restrictiva, no se registraba un beneficio en la composición corporal con la administración del CLA, mientras que si las dietas implicaban un balance de energía positivo, el CLA reducía la ganancia de peso corporal en forma de grasa (Park, y otros, 2007).

2.1.7 Lípidos

La arterioesclerosis es el desorden inflamatorio caracterizado por la acumulación de lípidos y sus metabolitos en la pared arterial, causada principalmente por colesterol LDL (Huang, y otros, 2007). Está demostrado que el consumo de CLA en la dieta humana tiene propiedades antiaterogénicas. La mayoría de los investigadores concuerda en que esta propiedad se debe a la actividad del isómero *t10, c12*-CLA. (Oleszczuck, y otros, 2012).

La suplementación con CLA genera una disminución en los niveles de LDL en la sangre, así como el nivel de colesterol total y de triglicéridos. Además, el CLA aumenta la concentración en el suero sanguíneo de colesterol HDL (Huang, y otros, 2007).

Un estudio realizado con conejos, a los cuales se les suministró una dieta suplementada con CLA (0.5 g CLA/día) durante 12 semanas, resultó en la reducción de la formación de placa aórtica, así como del colesterol total, LDL y triglicéridos. Se obtuvieron resultados similares al suministrar un 1% de CLA a hámsteres, sin embargo, en estudios con

cerdos y ratas no se hallaron cambios en los lípidos del suero (Rainer, y otros, 2004).

Un posible mecanismo en modelos animales responsable de las propiedades anti aterogénicas del CLA es la reducción en la secreción de la apolipoproteína-B (Rainer, y otros, 2004).

2.1.8 Antidiabetes

La diabetes es provocada por una deficiencia de insulina (tipo I), resistencia a la insulina (tipo II), o por ambas situaciones. La suplementación con CLA puede ayudar al manejo de esta enfermedad, especialmente en la diabetes tipo II a través de la reducción del peso corporal. Varios estudios sugieren que el isómero *trans-10, cis-12* -CLA es el isómero bioactivo responsable de cambios en el peso corporal de pacientes con diabetes tipo II. (Benjamin, y otros, 2009). Por otro lado, se ha visto que una suplementación con mezcla de isómeros de CLA en humanos está asociada con una mejora en la glucemia durante el ayuno (Rainer, y otros, 2004). El término glucemia significa "concentración de glucosa", por lo tanto ya no necesitas decir nivel de...

Adicionalmente, en individuos con sobrepeso, el consumo de CLA normaliza la tolerancia a la glucosa, mejorando la utilización de ésta. A su vez, el CLA reduce los niveles de glucosa, triglicéridos e insulina en sangre (Huang, y otros, 2007).

Sin embargo, de manera contradictoria en un estudio realizado en 2002 se encontró que el isómero *t10, c12*-CLA ocasionó un aumento en la resistencia a la insulina, dislipoproteinemia y un aumento en el nivel de glucosa en la sangre durante el ayuno. Parece ser que esto puede deberse a que el *t10, c12*-CLA aumenta el estrés oxidativo, o bien a un aumento en la lipólisis y el nivel de ácidos grasos libres asociados a la suplementación. El uso del isómero *t10, c12*-CLA debe ser estudiado

más a fondo, ya que sus propiedades oxidativas pueden incrementar el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Rainer, y otros, 2004).

De hecho, el efecto regulador de glucosa en sangre por parte del CLA es un ejemplo de la variedad de efectos que pueden tener los diferentes isómeros del CLA. Como se mencionó, parece ser que el isómero *t10, c12*-CLA aumenta la resistencia a la insulina, mientras que el isómero *c9, t11*-CLA tiene el efecto contrario (Hur, y otros, 2007).

2.1.9 Posibles efectos adversos del CLA

A pesar de que se han llevado a cabo algunos estudios clínicos para verificar la seguridad y eficacia del CLA en humanos, hay aún algunas dudas sobre la inocuidad de éste. Esto se debe a que se ha detectado que en ratas cuya dieta ha sido suplementada con el isómero *t10, c12*-CLA, se ha producido hígado graso (el cual podría ser reversible), y lipodistrofia (posiblemente debidos al efecto que tiene el CLA sobre el metabolismo lipídico).

Por otro lado, a pesar de que el consumo de CLA en sujetos con sobrepeso ha resultado beneficioso en el tratamiento de la diabetes, cuando se suministra CLA a individuos con sobrepeso pero sin diabetes, el CLA puede promover resistencia a la insulina, creando un estado prediabético (Huang, y otros, 2007). Ésta última parece ser causada por el isómero *t10, c12*-CLA, aunque una mezcla de éste y el isómero *c9, t11*-CLA no ocasiona resistencia a la insulina.

La resistencia a la insulina podría explicarse debido a que el CLA aumenta la β -oxidación de los ácidos grasos. También podría estar relacionada con los efectos que tiene el CLA sobre las citosinas y adipocinas (Park, y otros, 2007).

Adicionalmente, en humanos se ha detectado peroxidación lipídica y cambios desfavorables en las proteínas del suero y pérdida de grasa en leche. (Oleszczuck, y otros, 2012; Park, y otros, 2007). El consumo de CLA está contraindicado para mujeres en etapa de lactancia, ya que reduce el contenido de grasa de la leche materna, la cual es importante para el desarrollo del lactante (Huang, y otros, 2007).

Otros estudios han mostrado que el isómero *trans-10, cis-12*-CLA puede actuar como promotor del cáncer de colon, así como inductor de la hiperproinsulinemia relacionada con una baja sensibilidad a la insulina. Debido a que la hiperproinsulinemia predispone a la diabetes y enfermedades cardíacas, se debe regular el uso de suplementos para bajar de peso que contengan este isómero de CLA (Benjamin, y otros, 2009).

Como fue mencionado con anterioridad, una explicación para los resultados tan diversos entre los estudios, es que cada isómero del CLA tiene efectos diferentes, lo que puede tener como consecuencia resultados opuestos entre un isómero y otro. Una posible solución para este problema es usar una mezcla en proporciones adecuadas de todos los isómeros de CLA (las cuales dependen del objetivo que se pretenda alcanzar con el alimento funcional), junto con ácidos grasos n-3 y n-9. (Benjamin, y otros, 2009).

Adicionalmente, hay que considerar que los estudios hechos con animales y humanos presentan grandes diferencias, como edad, duración del estudio, porcentaje de grasa corporal, peso, estado metabólico de los individuos y dosis administrada. Por ejemplo, en estudios con roedores, se han administrado dosis hasta 20 veces más grandes que en estudios con humanos (Oleszczuck, y otros, 2012). Es

por esto que se requieren más estudios con humanos para verificar los efectos reportados de la suplementación con CLA.

Cabe mencionar que en un estudio de suplementación con CLA en la dieta de humanos saludables, pero con sobrepeso durante 24 meses, la tasa de los efectos adversos que se llegaron a reportar al llegar a 12 meses disminuyó considerablemente al llegar al término del estudio, lo que puede indicar que los efectos adversos reportados se relacionan con suplementación a corto plazo. Debido a que el estudio mencionado es el único estudio que se ha realizado con una duración mayor a 12 meses, es necesario hacer más pruebas para comprobar estos resultados (Benjamin, y otros, 2009; Gaullier, y otros, 2005).

2.2 Fuentes de CLA

2.2.1 Consumo de CLA en la dieta humana

Es difícil hacer una estimación adecuada de la cantidad de CLA que los humanos consumimos mediante la dieta, debido a grandes variaciones en la alimentación de un país a otro. Sin embargo, se ha calculado un consumo de CLA dentro del rango de 95–440 mg CLA/día, considerando que entre el 25 y 30% de esta cantidad proviene de productos cárnicos en culturas occidentales. (Schmid, y otros, 2006).

Se estima que el consumo de CLA por día en México se encuentra entre 0.3 y 0.63 g. Esta estimación considera hombres y mujeres entre 18 y 35 años, con dietas correspondientes a una actividad física moderada. El país donde el consumo de CLA es más alto es Australia, donde la cantidad de ácido linoléico conjugado consumido por día llega hasta 1.5g. Sin embargo, aún este consumo está por debajo de los 3 g diarios recomendados (considerando una persona de 70 kg de peso). Aumentar el consumo de productos ricos en CLA por naturaleza no es una buena estrategia para aumentar el consumo de CLA, ya que estos productos

(tales como la leche entera) generalmente se asocian con un alto contenido graso. Es por ello que una buena alternativa para aumentar el consumo de CLA en la dieta es aumentar el contenido de CLA en los productos que ya lo contienen por sí mismos (Herman - Lara, y otros, 2012; Joo, y otros, 2007).

La Tabla 2 muestra el contenido de CLA en algunos productos cárnicos.

Tabla 2. Contenido neto de CLA en productos cárnicos

| Producto Cárnico | Contenido de CLA (mg/g ácido graso metil éster) |
|----------------------------|--|
| Salami | 4.2 |
| Mortadela | 2.9 |
| Salchicha de hígado | 3.3 |
| Jamón cocido | 2.7 |
| Tocino ahumado | 0.8 – 2.6 |
| Jamón ahumado | 2.9 |

(Schmid, y otros, 2006)

Como se ha mencionado anteriormente, los productos lácteos también son una fuente importante de CLA. La Tabla 3 indica el contenido de CLA en diversos derivados lácteos.

Tabla 3. Contenido de CLA en productos lácteos

| Producto lácteo | Contenido de CLA (mg CLA/g grasa) |
|---------------------------|--|
| Leche homogenizada | 5.5 |
| Leche condensada | 7.0 |
| Mantequilla | 4.7 |
| Helado | 3.6 |
| Yogurt natural | 4.8 |
| Crema | 4.6 |
| Queso cheddar | 4.1 |

(Rainer y otros, 2004).

En lo que a México se refiere, Herman-Lara, Santos - Blanco, Vivar - Vera, García, Ochoa - Martínez, y Martínez - Sánchez analizaron el

contenido del isómero *cis-9, trans -11*-CLA en productos mexicanos. Sus resultados, obtenidos considerando las porciones de alimentos recomendadas por nutriólogos, se reproducen en las Tablas 4 y 5.

Tabla 4. Contenido de CLA en productos lácteos mexicanos

| Producto | % Grasa | CLA (mg/g grasa) | CLA (mg/g muestra) | CLA (mg/porción) | Porción |
|-------------------------|--------------|------------------|--------------------|------------------|---------|
| Yogurt | 2.0 ± 0.13 | 4.27 ± 0.54 | 0.21 ± 0.07 | 47.88 ± 1.09 | 240 mL |
| Leche descremada | 2.60 ± 0.13 | 3.75 ± 0.46 | 0.13 ± 0.03 | 21.55 ± 1.66 | 240 mL |
| Leche entera | 3.87 ± 0.39 | 4.50 ± 0.21 | 0.11 ± 0.04 | 23.75 ± 0.83 | 240 mL |
| Queso fresco | 13.23 ± 0.43 | 7.01 ± 0.45 | 0.97 ± 0.12 | 40.10 ± 1.12 | 45 g |
| Queso panela | 16.34 ± 0.67 | 5.14 ± 0.46 | 0.80 ± 0.05 | 31.21 ± 1.08 | 40 g |
| Queso Oaxaca | 15.24 ± 0.67 | 5.60 ± 0.55 | 0.78 ± 0.08 | 23.70 ± 1.45 | 30 g |
| Queso crema | 25.03 ± 0.27 | 4.30 ± 0.19 | 1.71 ± 0.03 | 12.87 ± 0.39 | 15 g |
| Crema | 32.81 ± 0.27 | 6.61 ± 0.29 | 1.31 ± 0.14 | 19.44 ± 1.03 | 15 g |

(Herman - Lara, y otros, 2012).

Tabla 5. Contenido de CLA en cortes de carne mexicanos

| Producto | % Grasa | CLA (mg/g grasa) | CLA (mg/g muestra) | CLA (mg/porción de 100 g) |
|---------------------|-------------|------------------|--------------------|---------------------------|
| Crudos | | | | |
| Costilla | 3.30 ± 0.12 | 9.84 ± 0.34 | 0.22 ± 0.01 | 22.98 ± 0.89 |
| Sirloin | 3.32 ± 0.26 | 12.32 ± 0.32 | 0.32 ± 0.009 | 32.06 ± 0.13 |
| Roast beef | 3.52 ± 0.60 | 14.67 ± 0.26 | 0.40 ± 0.01 | 40.43 ± 0.8 |
| Carne molida | 4.49 ± 0.36 | 20.61 ± 0.25 | 0.93 ± 0.07 | 92.36 ± 0.54 |
| Cocidos | | | | |
| Costilla | 3.41 ± 0.51 | 10.21 ± 0.37 | 0.24 ± 0.01 | 24.34 ± 0.37 |
| Sirloin | 3.71 ± 0.45 | 12.45 ± 0.21 | 0.34 ± 0.05 | 34.28 ± 0.34 |
| Roast beef | 3.70 ± 0.26 | 14.38 ± 0.34 | 0.41 ± 0.05 | 41.04 ± 0.84 |
| Carne molida | 4.21 ± 0.84 | 20.45 ± 0.21 | 0.92 ± 0.08 | 93.62 ± 0.34 |

(Herman - Lara, y otros, 2012).

Se ha visto que al consumir CLA, éste se incorpora en los tejidos y se metaboliza de manera similar a los demás ácidos grasos. La suplementación con CLA incrementa el contenido de este compuesto en los tejidos, tanto en la fracción fosfolipídica (en posición sn-2) como en la correspondiente a los triglicéridos, y es detectable en todo tipo de fosfolípidos analizados, tales como fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina y fosfatidilserina. Adicionalmente, se han encontrado ácidos grasos conjugados de 16, 14 y 12 carbonos en tejidos analizados; estos ácidos grasos podrían ser productos de la β -oxidación del CLA, sin embargo, parece ser que estos metabolitos no aportan los mismos beneficios que el CLA mismo (Park, y otros, 2007).

2.2.2 Concentración de CLA en carne y sus derivados

De manera general, se ha demostrado que el mayor contenido de CLA en carne se encuentra en la carne de canguro, con un contenido de 38 mg CLA/g ácidos grasos. Dentro de los productos consumidos con mayor regularidad, la carne de cordero resultó tener el mayor contenido de CLA, con 4.3 a 19.0 mg CLA/g ácidos grasos, seguida de la carne de res, con un contenido de CLA de 1.2 a 10.0 mg/g ácidos grasos. Por otro lado, las carnes que menos CLA contienen son las de cerdo, pollo y caballo, todas con menos de 1 mg CLA/g ácidos grasos. Es importante mencionar que estos contenidos de CLA podrían estar subestimados, ya que únicamente consideran el isómero *c9, t11*-CLA. En general, una mayor cantidad de grasa intramuscular se asocia a una mayor concentración de CLA (Schmid, y otros, 2006).

2.2.3 Factores que influyen en el contenido de CLA en carne y productos cárnicos

El contenido de CLA en la carne es muy variable, no sólo entre especies sino entre tejidos de una misma especie. (Schmid, y otros, 2006). Algunos de los factores que influyen en el contenido de CLA en la carne

son: cambios estacionales, genética del animal, alimentación y prácticas de ganadería y producción.

El factor primordial que afecta el contenido de CLA en la carne es la alimentación del animal, ya que proporciona los sustratos para la producción de CLA. Una dieta a base de forraje genera un mayor contenido de CLA, mientras que si la dieta del animal se basa en concentrados y granos, la cantidad de CLA en la carne será menor. Esto se atribuye al alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados en el pasto y forraje (Schmid, y otros, 2006).

Un beneficio adicional de la pastura es que el contenido de antioxidantes y precursores de vitaminas A y E en la carne y leche también aumenta (Oleszczuck, y otros, 2012).

Una manera de aumentar el contenido de CLA en la carne es suplementar la alimentación del ganado con semillas, tales como semillas de girasol, linaza y granos de soya. Por lo tanto, se considera que la alimentación con forraje y suplementación con ácidos grasos poliinsaturados tiene un efecto sinérgico en la producción de CLA. (Schmid, y otros, 2006). Por otro lado, la inclusión de taninos en la dieta del ganado incrementa el contenido de CLA en los productos derivados de rumiantes, así como el rendimiento lechero (Oleszczuck, y otros, 2012).

Se puede esperar un efecto positivo en la concentración intramuscular de CLA en la carne cuando se alimenta al animal con suplementos de aceite vegetal, tales como aceite de girasol. Esto se debe a que los aceites vegetales proporcionan ácidos grasos poliinsaturados, mismos que, como ya se ha mencionado, son los sustratos para la isomerización o bien biohidrogenación responsable de la producción de CLA en el rumen. De igual manera, la suplementación con aceite de pescado

incrementa la acumulación en el rumen de ácido trans-vaccénico, proporcionando una mayor cantidad de sustrato para la síntesis endógena de CLA. (Schmid, y otros, 2006).

Capítulo 3. El reto del desarrollo de productos cárnicos adicionados con ácidos n-3 y n-6

Como se ha mencionado con anterioridad, el ácido linoleico conjugado es derivado del ácido linoleico, el cual forma parte de la familia de los ácidos grasos n-6 (Benjamin, y otros, 2009). Debido a que añadir CLA a la carne necesariamente impacta en el perfil lipídico de ésta, es conveniente hablar sobre cómo este cambio puede aprovecharse para mejorar el contenido de ácidos grasos n-3 y n-6 de la carne, lo que puede incrementar el beneficio de los alimentos cárnicos adicionados con CLA.

El consumo de ácidos grasos poliinsaturados n-3 y n-6 conlleva beneficios que han sido documentados por numerosos autores. Entre estos beneficios se encuentran la disminución del riesgo de contraer enfermedades cardiovasculares y de problemas con el desarrollo fetal, e incluso protección contra la demencia (Mc Niven, y otros, 2011). Parece ser que los ácidos grasos n-3 tienen un efecto protector contra las arritmias, posiblemente debido a la habilidad de ácidos grasos como el eicosapentaenoico y el docosahexaenoico de influenciar la actividad de los canales de sodio del sarcolema. Otras propiedades que tienen estos grupos de ácidos grasos incluyen reducción del daño isquémico, incrementar la variabilidad en el ritmo cardíaco e incrementar el nivel de fibrilación ventricular (Russo, 2009).

La composición de los ácidos grasos consumidos tiene un gran impacto en la salud del consumidor, ya que cada ácido graso afecta la circulación de lípidos en el cuerpo de manera diferente. Los ácidos grasos n-3 y n-6 son esenciales para el ser humano ya que se requieren para cumplir funciones fisiológicas relacionadas con integridad de la membrana y señales regulatorias de las células, y el balance entre estas familias de ácidos grasos es crucial para la salud (Mc Niven, y otros, 2011).

Se sabe que los ácidos grasos insaturados reducen los niveles de colesterol LDL, las cuales están relacionadas con enfermedades cardiovasculares, por lo que una modificación que se busca en la carne es que el perfil de ácidos grasos muestre una mayor proporción de ácidos grasos mono y poliinsaturados (Joo, y otros, 2007).

Los aceites vegetales, tales como los aceites de soya, girasol, y algodón, así como canola y linaza son fuentes importantes de ácidos grasos n-3 y n-6 son. Estos ácidos grasos también se encuentran abundantemente en pescado y mariscos, huevo, almendras y margarina (Russo, 2009).

Dentro del mercado de alimentos funcionales, el nicho de productos con ácidos grasos omega 3 ha crecido rápidamente. Como se mencionó en el Capítulo 1, los compuestos bioactivos que se añadan a un alimento para hacerlo funcional, pueden añadirse por medio de administración directa (incorporando el compuesto al producto durante el procesado) o por administración indirecta (alimentando al animal con el compuesto de interés, de manera que éste se absorba en el tejido) (Harthwar, y otros, 2012). La adición de ácidos grasos en productos cárnicos no es la excepción, ya que se puede modificar el perfil de ácidos grasos en la carne usando cualquiera de las dos vías (Decker, y otros, 2010)

3.1 Composición general de ácidos grasos en la carne

Los lípidos son un componente funcional y estructural importante de los alimentos. Tienen un efecto importante en la calidad de los productos, aún cuando se encuentran contenidos en bajas cantidades (Gerber, y otros, 2009).

Los lípidos de la carne se componen de triglicéridos y fosfolípidos. Los triglicéridos son lípidos de reserva y se componen de tres ácidos grasos esterificados con un glicerol, mientras que los fosfolípidos son lípidos estructurales en los cuales el glicerol se encuentra esterificado a dos

ácidos grasos y a un grupo fosfato, el cual está unido a su vez a una serina, etanolamina, colina, glicerol o inositol (Mapiye, y otros, 2012).

Menos del 50% de los ácidos grasos contenidos en la carne son ácidos grasos saturados, mientras que hasta el 70% de los ácidos grasos de este alimento son mono y poliinsaturados (Olmedilla - Alonso, y otros, 2013). Los ácidos mirístico y palmítico son los ácidos grasos saturados más abundantes en la carne, y han sido asociados con enfermedades cardiovasculares, cáncer colorrectal, y diabetes tipo II (Mapiye, y otros, 2012).

La deposición de lípidos en tejido animal puede ser endógena (sintetizado *de novo*), o exógena, es decir, que los ácidos grasos son aportados por la alimentación y se depositan directamente en los tejidos (Olmedilla - Alonso, y otros, 2013).

De manera general, se recomienda que entre el 20 y 35% del consumo energético de los adultos provenga de lípidos, de los cuales, menos del 10% deben ser ácidos grasos saturados, entre 6 y 11%, ácidos grasos poliinsaturados, y el resto, debe provenir de ácidos grasos monoinsaturados. Cabe mencionar que del total de ácidos grasos consumidos, menos del 1% debe corresponder a ácidos grasos *trans* (Mapiye, y otros, 2012), y el consumo de colesterol no debe sobrepasar los 300 mg por día (Russo, 2009). Además, según el Departamento de Salud Británico, la relación de ácido grasos poliinsaturados/saturados debe ser mínimo de 0.45 (Juárez, y otros, 2009).

La remoción química o mecánica de la grasa de la carne es un método sencillo para disminuir el impacto negativo que el consumo de este alimento puede tener en la salud. Sin embargo, esta reducción de grasa puede generar cambios indeseables como un aumento en la pérdida de producto con la cocción y cambios en la textura. Una solución a este

problema es la adición de aceite de canola, el cual restaura la textura de los productos cárnicos bajos en grasa, y disminuye la pérdida de producto por calentamiento (Khan, y otros, 2011).

La modificación del perfil de ácidos grasos en la carne implica grandes retos tecnológicos, como una disminución en la estabilidad oxidativa y cambios de color durante el tratamiento térmico debidos a estrés a oxidativo. Es por ello que generalmente, la adición de ácidos grasos se acompaña de adición de antioxidantes. Sin embargo, la adición de vitaminas antioxidantes en productos cárnicos está restringida, por lo que se tiene que recurrir a otros ingredientes con las mismas características. Con este fin se han utilizado los antioxidantes BHA y BHT, pero su uso ha disminuido debido al rechazo que han tenido por los posibles efectos adversos que pueden tener en la salud. Una alternativa es el uso de algunas hierbas y especias, que gracias a sus flavonoides, ácidos fenólicos y taninos, presentan características antioxidantes (Khan, y otros, 2011).

3.2 Factores a considerar durante el diseño de alimentos cárnicos con perfiles lipídicos modificados

Para diseñar una estrategia para manipular la composición de ácidos grasos de la carne, es necesario comprender cuáles son los objetivos de dicha manipulación, basándose en información sustentada científicamente, fijando como meta un contenido específico de ciertos ácidos grasos, o bien, una proporción específica de estos.

Existen numerosos factores que determinan la composición de ácidos grasos de la carne, pero la influencia de cada uno de estos factores no es equitativa. Por ello, es importante evaluar hasta qué punto contribuye cada factor en la composición lipídica de la carne, y enfocar cada uno de estos factores hacia la optimización de la producción, la

eficiencia económica y la calidad constante del producto (Mapiye, y otros, 2012).

Los factores más importantes que se deben considerar al diseñar el perfil de ácidos grasos de un producto cárnico se exponen a continuación.

3.2.1 Alimentación del ganado

El perfil de ácidos grasos contenido en la carne se ve directamente influenciado por la alimentación que recibe el ganado. Cuando se elige un forraje o bien otra fuente de alimentación, se deben tener en cuenta los siguientes factores (Mapiye, y otros, 2012):

- ¿Es esta la alimentación adecuada para cumplir el objetivo?
- ¿Es esta fuente de alimentación producida de la forma adecuada?
- ¿Se encuentra disponible durante los ciclos de producción necesarios?
- ¿La eficiencia de esta fuente de alimentación es la adecuada?

Además de las características del alimento en sí, es importante analizar cómo lo va a utilizar y asimilar el animal al consumirlo. Por ejemplo, se ha visto que si se suministra más de un 6% de aceite de granos a los rumiantes, las funciones del rumen se ven afectadas. Esta limitante en la cantidad de aceite suministrado aplica también para el ganado porcino, ya que una cantidad mayor de ácidos grasos poliinsaturados genera carne con grasa más suave y más vulnerable a la rancidez oxidativa, debido a que en animales monogástricos la baja biohidrogenación de ácidos grasos poliinsaturados en el estómago incrementa la eficiencia de la deposición de la grasa (Mapiye, y otros, 2012).

En el caso del ácido linoléico conjugado, se ha encontrado que si se suplementa la alimentación del ganado con semillas de soya, la cantidad de CLA, específicamente el isómero *c9, t11*-CLA, aumenta significativamente. La suplementación con semillas de canola y linaza también aumenta el contenido de CLA, pero en menor proporción (Mc Niven, y otros, 2011).

El procesamiento que se le da al alimento también juega un papel importante en la disponibilidad de los lípidos para la digestión. Se ha visto que si se coextruyen semillas de linaza con chícharos para alimentar ganado porcino, aumentan la digestibilidad y la deposición de ácido grasos poliinsaturados *n-3* en la carne (Mapiye, y otros, 2012).

La dieta base que se suministra es un factor determinante en la asimilación de los lípidos suplementados. En un estudio en el que se alimentaron vacas y toros con dietas suplementadas con semilla de linaza, se detectó que aquellos cuya dieta base consistía en concentrado y paja (70/30) fijaron más CLA en sus tejidos que aquellos alimentados con concentrado y ensilado (40/60). Esto puede deberse a que las dietas con alto contenido de concentrado reducen la intensidad de la biohidrogenación de ácidos grasos poliinsaturados en el rumen, lo que favorece la producción de ácido vaccénico (precursor del CLA) (De la Torre, y otros, 2006). Además, se genera un ambiente favorable para las bacterias que fermentan la fibra, tales como *Butyrivibrio fibrisolvens*, mismas que siguen rutas de biohidrogenación que incluyen al ácido vaccénico. Adicionalmente, al incrementar la cantidad de forraje con respecto al concentrado, se reduce la síntesis endógena de grasa, lo que evita la "dilución" de ácidos grasos poliinsaturados (Mapiye, y otros, 2012).

Juárez y colaboradores hicieron un estudio en el que elaboraron salchichas con tres formulaciones diferentes: una con carne de cerdos cuya dieta fue suplementada con CLA durante 8 semanas, otra con carne de cerdos que no consumieron CLA, sino que éste fue añadido directamente a la formulación, y un control sin CLA. En este estudio, encontraron que el contenido de ácidos grasos saturados era mayor en la grasa de los cerdos cuya dieta fue suplementada con CLA, aumentando el marmoleo y la firmeza de la grasa. Este incremento de ácidos grasos saturados fue acompañado de una disminución de ácidos grasos monoinsaturados, posiblemente debido a la disminución de la actividad de la $\Delta 9$ -desaturasa, la cual cataliza la $\Delta 9$ *cis* desaturación de numerosos sustratos de ácidos grasos, como el palmitoil CoA. Por otro lado, la cantidad de ácidos grasos poliinsaturados aumentó considerablemente al suplementar con CLA la dieta de los cerdos y la formulación de las salchichas (Juárez, y otros, 2009; Joo, y otros, 2007).

Cabe mencionar que se ha visto en numerosos estudios que tras 42 días de una dieta suplementada con lípidos en específico, el perfil de ácidos grasos en la carne se modifica acorde a la dieta, y no varía significativamente aunque la dieta se prolongue más tiempo (De la Torre, y otros, 2006).

3.2.2 Tipo de ganado

Es importante considerar si el ganado con el que se trabajará es monogástrico o no. A diferencia de los rumiantes, los ácidos grasos que consume un animal no rumiante serán depositados casi de manera íntegra en su tejido adiposo. Por ejemplo, se calcula que entre el 85 y 100% del ácido linolénico consumido en la dieta de los rumiantes (el cual es el más abundante en el forraje) es biohidrogenado en el rumen, mientras que alrededor del 70 a 95% del ácido linoléico sufre esta

biohidrogenación. Este proceso disminuye la disponibilidad de los ácidos grasos poliinsaturados para depositarse en músculos y tejido adiposo (Wood, y otros, 2008).

Para aumentar la eficiencia de la transferencia de ácidos grasos poliinsaturados a la carne, los ácidos grasos no deben modificarse en el rumen, ya que de esta forma podrán ser digeridos y absorbidos en el intestino delgado. Debido a que los microorganismos del rumen requieren ácidos grasos libres para su metabolismo, una manera de evitar su modificación en el rumen es a través de la inhibición de la lipólisis, ya sea usando una barrera o bien influenciando la actividad de las lipasas con metabolitos secundarios en el alimento, lo que resulta en carne con mayor contenido de ácidos grasos $n-3$ (Mapiye, y otros, 2012).

Se ha encontrado que al aplicar tratamiento térmico a las semillas con las cuales se suplementa la alimentación del ganado, se puede influenciar el balance de ácidos grasos en leche y carne de rumiantes, debido a que disminuye el grado de biohidrogenación en el rumen (Mc Niven, y otros, 2011).

3.2.3 Factores intrínsecos del ganado

El peso, la edad, el género, la cantidad de grasa y el tipo de tejido del ganado son factores que afectan el metabolismo de los lípidos. De la Torre *et al* han realizado varios experimentos al respecto. En uno de estos estudios, en el que se alimentaron vacas y toros de distintas edades con suplementos de linaza, se encontró que la raza, edad y género de los animales impactaba en la modulación de la composición de CLA en la grasa intramuscular, así como la eficiencia de la suplementación para aumentar el contenido de CLA. Se encontró, por ejemplo, que toros más jóvenes registraban una mayor concentración

de CLA en los músculos que aquellos de mayor edad; además, las vacas absorbieron menos CLA que los toros.

Parece ser que la velocidad con la que el animal gana peso tiene cierta relación con la cantidad de CLA depositado en la grasa intramuscular. En otro estudio realizado, De la Torre y sus colaboradores encontraron que los novillos que presentaron una menor ganancia de peso tuvieron un mayor contenido de CLA en la grasa intramuscular que aquellos cuya ganancia de peso fue más rápida. De igual manera, en el primer grupo la suplementación con linaza fue más efectiva para incrementar la cantidad de CLA depositado.

La raza juega un papel importante en la deposición de los ácidos grasos suministrados. Finalmente, en otro experimento, De la Torre y sus colaboradores encontraron que la deposición de CLA en el tejido adiposo de vacas de la raza Charolais era hasta 47% mayor que en vacas de raza Holstein con la misma alimentación.

En cuanto al tipo de tejido, los cortes con más grasa son los que presentarán una mayor cantidad de ácidos grasos depositados tras la suplementación. Por ejemplo, al suplementar la dieta con semillas de linaza, los cortes de *rectus abdominis* y *longissimus dorsi* contenían una mayor cantidad de CLA (expresado en mg/g tejido) que cortes de *pectoralis trannsversus* y *semi tendinosus*, ya que los primeros son por naturaleza cortes con mayor contenido graso. Sin embargo esto también implica una "dilución" del CLA o bien del ácido graso poliinsaturado que se busque incrementar, debido a la alta cantidad de ácidos grasos saturados. Es por esta razón que si la cantidad de CLA se expresaba con respecto al porcentaje del total de lípidos, los cortes *pectoralis trannsversus* y *semi tendinosus* muestran un mayor contenido de CLA (>24%) (De la Torre, y otros, 2006).

Debido a los factores mencionados, es difícil establecer la contribución de la genética a la composición de ácidos grasos de la carne. A pesar de lo anterior, se han detectado diferencias entre razas de animales, tomando como covariables en el análisis estadístico peso, edad, género, cantidad de grasa y tipo de tejido (Mapiye, y otros, 2012).

Se ha prestado especial atención al estudio del gen responsable de la Δ -9 desaturasa, ya que ésta se relaciona con el marmoleo de la grasa. Se ha encontrado que la expresión de este gen está regulada por la dieta, especialmente por los ácidos grasos n-3 y n-6, así como por factores hormonales y ambientales (Dervishi, y otros, 2010).

Sin embargo, a pesar de que la edad y peso del animal influyen el perfil lipídico de la carne, es la diferencia entre especies la que representa la mayor fuente de variación en la composición lipídica de la carne. Por ejemplo, la carne de res tiene una mejor proporción de ácidos grasos n-6/n-3 que la carne de puerco. A pesar de esto, su proporción de ácidos grasos poliinsaturados/saturados es menor (Mapiye, y otros, 2012).

En el caso específico del CLA, todos los factores mencionados anteriormente tienen además impacto en la cantidad de cada isómero depositado en los tejidos. Al alimentar a diferentes razas de vacas y toros con dietas suplementadas con semillas de linaza, aquellos animales cuya dieta base consistía mayormente en concentrado presentaron una mayor cantidad de isómeros *trans, trans* (1.4 veces más que aquellos cuya dieta se basaba principalmente en ensilado de maíz), y una menor cantidad de isómeros *cis, trans*. Esto puede explicarse por la influencia que tienen sobre la biohidrogenación en el rumen factores como la dieta base y el tipo y cantidad de ácidos grasos suministrados. Éstos pueden modificar la manera en que los

microorganismos del rumen utilizan los ácidos grasos, y por lo tanto, los isómeros de CLA que generan (De la Torre, y otros, 2006).

Por otro lado, en el mismo estudio, la edad, sexo y raza afectaron significativamente el tipo y cantidad de isómeros de CLA depositados en el tejido. Las vacas de mayor edad presentaron 1.2 veces más isómeros del tipo *cis, trans* que los toros jóvenes (14.5%). De igual manera, la grasa intramuscular de machos jóvenes presentó mayores proporciones de isómeros *cis, cis* y *trans, trans* que las vacas maduras (De la Torre, y otros, 2006).

Finalmente, aunque la raza no pareció generar diferencias significativas entre los isómeros de CLA depositados en los músculos, el tejido analizado sí. Se encontró una mayor cantidad de isómeros *cis, cis* (x5) y *trans, trans* (61.2%), y menos isómeros del tipo *cis, trans* (12.2%) en cortes del tipo *pectoralis transversus* y *semi tendinosus* que en los cortes *rectus abdominis* y *longissimus dorsi* (De la Torre, y otros, 2006).

La composición de ácidos grasos en la carne se puede ver afectada por: composición de la dieta, tamaño de la mordida del animal, velocidad a la que come, cantidad y calidad de la saliva, ambiente en el rumen, tipo y cantidad de microorganismos en el rumen, eficiencia digestiva y metabolismo lipídico. Por ello, las estrategias para mejorar el perfil de ácidos grasos en la carne deben considerar cómo la dieta, el manejo, fisiología y comportamiento del animal influyen el ambiente y la población microbiana en el rumen de cada animal, por lo que es importante comprender el funcionamiento y ecología del rumen (Mapiye, y otros, 2012).

3.2.4 Efecto de la composición de ácidos grasos en las características de la carne

Al cambiar la composición de ácidos grasos en la carne, también se pueden ver modificadas sus características físicas, así como la estabilidad oxidativa. Por ejemplo, cuando la concentración de ácidos grasos poliinsaturados es muy alta en la carne de puerco, la grasa es demasiado suave, lo que resulta inaceptable en el mercado norteamericano. De igual forma, si la suavidad se debe especialmente a ácidos n-3, se desarrollará un olor a pescado con la cocción, lo que impactará negativamente la percepción del consumidor. Es por ello que es importante tener metas claras al intentar cambiar el perfil de ácidos grasos de la carne, así como considerar el efecto que estos cambios puedan tener en la calidad de la carne y sus características sensoriales (Mapiye, y otros, 2012).

Adicionalmente a las técnicas de producción animal y procesamiento de la carne, cuando se quiere hacer un producto cárnico funcional se deben considerar condiciones de almacenamiento y consumo, ya que éstas también pueden afectar la composición del producto y, por ende, el contenido de compuestos sanos y nocivos (Olmedilla - Alonso, y otros, 2013).

A pesar de que en la carne los lípidos son uno de los pocos componentes que pueden modificarse en su contenido y composición (Mapiye, y otros, 2012), la alteración del perfil de ácidos grasos en productos cárnicos, especialmente en lo referente al aumento en el contenido de ácidos grasos insaturados (tales como el CLA) es un reto, ya que la carne tiene un alto contenido de metales prooxidativos, y generalmente tiene baja cantidad de antioxidantes endógenos, además de que es sometida a procesos que aumentan el estrés oxidativo. Todo esto puede resultar en la pérdida de los ácidos grasos insaturados que se adicionen, por lo que

al añadir ácidos grasos insaturados a la dieta de los animales, se deben manejar también tecnologías antioxidantes que minimicen el deterioro oxidativo.

Es difícil modificar el perfil de ácidos grasos en la carne de rumiantes debido a que, como ya se ha mencionado, los ácidos grasos insaturados son biohidrogenados en el rumen. Se han hecho intentos por alimentar al ganado con ácidos grasos protegidos, de manera que las bacterias del rumen no puedan hidrogenarlos, pero este método resulta poco efectivo, principalmente por el elevado costo que representa en comparación con la baja cantidad de ácidos grasos insaturados que se incorporan al músculo del animal (Decker, y otros, 2010).

Otra alternativa para aumentar el contenido de ácidos grasos poliinsaturados en los productos cárnicos, es añadir los ácidos directamente a los productos procesados. Este método es especialmente prometedor cuando se trata de ácidos omega-3, ya que no es necesario que se añadan en grandes cantidades para poder tener un valor funcional significativo. Además, no se generan cambios sensoriales ni tecnológicos (Khan, y otros, 2011). Otra ventaja de este método es que los ácidos grasos que se incorporen pueden ser encapsulados con agentes antioxidantes que no disminuyan la biodisponibilidad. Sin embargo, la gran desventaja de la adición exógena de ácidos grasos es que hasta un 30% de éstos puede perderse durante el tratamiento térmico (Decker, y otros, 2010).

Una fuente de ácidos grasos poliinsaturados que puede utilizarse para adición exógena en productos cárnicos es el aceite de pescado, sin embargo, esto genera sabores desagradables, además, este aceite afecta la estabilidad del producto ya que es muy susceptible a la oxidación (Harthwar, y otros, 2012).

En el caso particular del CLA, éste existe como aditivo alimenticio, por lo que puede añadirse directamente al producto cárnico (Decker, y otros, 2010). Se ha inyectado CLA producido comercialmente a la carne, para elaborar productos como paté y salchichas (Olmedilla - Alonso, y otros, 2013).

En cuanto al aumento de la concentración de CLA por manipulación de la dieta del ganado, se ha comprobado que alimentar al ganado vacuno con semillas con alto contenido de ácido linoleico y linolénico aumenta el contenido de CLA en la carne hasta 3 veces. Además, se ha mostrado que la suplementación de la dieta del ganado con aceites vegetales tiene el mismo efecto en el contenido de CLA (Khan, y otros, 2011).

Es importante mencionar que alimentar al ganado con CLA incrementa la proporción de ácidos grasos saturados/insaturados, por lo que la carne de animales cuya dieta ha sido suplementada con CLA es menos susceptible a la oxidación lipídica así como a los cambios en el color y compuestos volátiles. Sin embargo, este aumento de ácidos grasos saturados no es recomendable debido al impacto negativo que puede tener en la salud del consumidor, por lo que se ha sugerido incluir ácido grasos monoinsaturados en la dieta de los animales cuando ésta se suplementa con CLA (Martin, y otros, 2008). Cabe mencionar que esta protección contra la oxidación lipídica parece darse solamente cuando la concentración del CLA es menor o igual al 1%, ya que en un estudio en el que se suministraron dietas conteniendo ácido grasos monoinsaturados y CLA (concentraciones 0, 1 y 2%) en cerdos, se encontró que, tras 7 días en refrigeración, los cortes de carne que contenían 2% de CLA presentaron una mayor cantidad de malonaldehído, mientras que los cortes que contenían 1%, tenían la menor cantidad de este compuesto. Esto podría explicarse por las diferentes cantidades de ácidos grasos poliinsaturados contenidos en las

muestras, ya que éstos son mucho más susceptibles a la oxidación. Adicionalmente, el CLA por sí mismo es muy susceptible a la oxidación cuando se encuentra en forma de ácido graso libre y no esterificado en forma de triglicérido; esto pudo haber contribuido a la alta cantidad de malonaldehído reportado para las muestras con 2% de CLA (Martin, y otros, 2008).

Se ha encontrado que ni los ácidos grasos monoinsaturados ni el CLA modifican la concentración de los compuestos volátiles (cetonas, aldehídos, alcoholes, ésteres, ácidos, hidrocarburos alifáticos y aromáticos) contenidos en la carne de puerco tras 7 días de almacenamiento en refrigeración. De manera general, los compuestos volátiles detectados en mayor cantidad en carnes con alto contenido de CLA son los aldehídos (Martin, y otros, 2008).

3.2.5 Aplicación de tecnologías antioxidantes

Como se ha mencionado, el incremento de ácidos grasos insaturados en la carne la hace más susceptible a la oxidación, por lo que es necesario considerar el uso de tecnologías antioxidantes en productos cárnicos adicionados con ácidos n-3 y n-6. Esta tecnología antioxidante puede aplicarse mediante la adición de compuestos antioxidantes a la dieta del animal (tales como taninos condensados (Mapiye, y otros, 2012)), añadiendo los antioxidantes al producto al momento de procesarlo, manteniendo una cadena de frío adecuada o bien, con empaçado al vacío (Decker, y otros, 2010).

3.2.6 Efecto de los tratamientos tecnológicos en el perfil de ácidos grasos

La cocción es un proceso esencial que se debe aplicar a la carne para obtener un producto agradable e inocuo. Sin embargo, el tratamiento térmico puede conllevar modificaciones no deseables, tales como

pérdida de nutrimentos como vitaminas y nutrimento inorgánicos, así como cambios en el perfil de ácidos grasos debido a oxidación lipídica (Gerber, y otros, 2009).

Se ha reportado que la cocción conduce a un incremento en el contenido total de grasa; sin embargo, al comparar con respecto al peso inicial de la muestra, se observa una pérdida de contenido graso tras el tratamiento térmico en la carne. Esto se debe a que casi toda el agua contenida en la carne se encuentra en las miofibrillas, por lo que un cambio en la conformación de estas miofibrillas conlleva un cambio en la distribución del agua. De este modo, ya que el calentamiento lleva a un cambio estructural, cambia la capacidad de retención de agua de las proteínas de la carne.

Por supuesto, el tratamiento térmico aplicado tiene un impacto sobre la pérdida de lípidos: entre más prolongado sea el calentamiento, mayor será la pérdida de ácidos grasos.

En cuanto a cambios en el perfil de ácidos grasos tras el calentamiento, se ha detectado un aumento en la proporción de ácidos grasos poliinsaturados/saturados, posiblemente debido a que los ácidos grasos poliinsaturados forman parte de las membranas celulares. Por lo tanto, el cambio en el perfil lipídico se debe a pérdidas de los triglicéridos de tejido adiposo. Al analizar el líquido resultante del calentamiento de la carne, se reporta que contiene básicamente triacilgliceroles, mientras que hay ausencia de fosfatidiletanolamina, un fosfolípido importante en la carne, lo que indica que los fosfolípidos permanecen formando parte de la membrana durante el tratamiento térmico.

Es importante mencionar que los efectos que el calentamiento tiene sobre el perfil de ácidos grasos varían, posiblemente debido al término

de la carne, el tipo de producto, el contenido y tipo de ácidos grasos (Gerber, y otros, 2009).

Juárez y sus colaboradores detectaron que al analizar la composición de ácidos grasos antes y después de la cocción de salchichas elaboradas con carne de cerdo sin CLA, y con suplementación de CLA en la dieta, en estas últimas hubo un aumento de ácidos grasos saturados y una disminución en el contenido de ácidos grasos monoinsaturados. Sin embargo, aumentó el contenido de ácidos grasos poliinsaturados, manteniendo una relación de ácidos grasos poliinsaturados/saturados aceptable. La literatura reporta que la pérdida de ácidos grasos poliinsaturados puede deberse a la pérdida por goteo de triglicéridos durante la cocción (Juárez, y otros, 2009). Sin embargo, al añadir el CLA directamente a la formulación de la salchicha se encontró que no hubo ningún cambio en el perfil lipídico del producto, lo que sugiere que el aceite añadido durante la elaboración de las salchichas ayuda a estabilizar los ácidos grasos durante el tratamiento térmico.

Por lo tanto, desde el punto de vista tecnológico, es más efectivo añadir el CLA directamente a la formulación de los productos que incorporarlos en la dieta del ganado, ya que no sólo es más barato sino que no hay incremento de ácidos grasos saturados (Juárez, y otros, 2009).

En un estudio en el cual se analizó el contenido del isómero *c9, t11*-CLA en cortes de carne crudos y después de la cocción, se encontró que la cantidad de CLA no varía significativamente, por lo que se puede concluir que el calentamiento no induce la isomerización del CLA (Herman - Lara, y otros, 2012).

3.2.7 El reto de la aceptación del consumidor

Los consumidores de carne obtienen la información de diversas fuentes, cada una con sus propios intereses, por ejemplo: productores,

legisladores, asociaciones protectoras de animales y los medios de comunicación. Es por ello que resulta conveniente hacer un análisis de todos los interesados en la industria cárnica, para evaluar la posibilidad de trabajar en conjunto con el fin de diseminar información simplificada sobre los productos cárnicos enriquecidos con ácidos grasos, y así promover su consumo.

Para aumentar la competitividad, venta y ganancias de los productos cárnicos adicionados con ácidos grasos, los productores deben identificar los ácidos grasos más importantes que diferencian su carne de las demás, educar a los consumidores sobre sus beneficios a la salud, y determinar los precios que los consumidores estarían dispuestos a pagar por dichos beneficios.

También deben considerarse atributos físicos del producto tales como apariencia física, el empaque y etiquetado, ya que estos pueden diferenciar más al producto funcional de los demás en el mercado. Otro método para diferenciar el producto es producirlo procurando el bienestar del animal productor, ya que, en este contexto, se pueden introducir alimentos funcionales en el mercado orgánico.

Otros factores tales como el punto de venta y la facilidad de preparación y consumo también juegan un papel importante en la decisión del consumidor de comprar el producto.

Los legisladores juegan un papel importante en la aceptación de los consumidores de productos cárnicos funcionales, ya que se requiere que se permita declarar en las etiquetas los beneficios de dichos productos. Si el consumidor no comprende la importancia de las regulaciones, así como las ventajas que aporta el consumo de los productos, no aceptará el cambio y no consumirá los productos.

Los beneficios de definir estrategias para mejorar el perfil lipídico de la carne y producir carne enriquecida con los ácidos grasos adecuados, solamente se obtendrán si los perfiles de ácidos grasos pueden declararse en las etiquetas, si se consiguen las oportunidades para diferenciar los productos, y si los consumidores están conscientes de los beneficios de los productos, y los consumen (Mapiye, y otros, 2012).

Capítulo 4. El uso de CLA en productos cárnicos y repercusión sobre la vida de anaquel

4.1 Efecto de la adición con CLA en las características de la carne

En un estudio, al suplementar la dieta de conejos con diferentes dosis de α -tocoferol (60 y 240 mg/Kg) y de CLA (0% y 0.5% de la dieta total, usando una mezcla 50/50 de los isómeros *t*10, *c*12-CLA y *c*9, *t*11-CLA), se encontró, como se puede observar en la Tabla 6, que la suplementación con 0.0% y 0.5% de CLA (respecto al total de la dieta) no tiene efectos significativos en el pH, así como en la luminosidad y color de la carne, ni tampoco en el contenido de humedad, proteína y cenizas (Corino, y otros, 2007).

Tabla 6. pH, índices de color y composición química de Longissimus Lumborum en carne de conejo suplementada con 0.0% y 0.5% de CLA. (aDatos expresado en % peso húmedo).

| | CLA | | Vit E | |
|--|-------|-------|----------|-----------|
| | 0% | 0.50% | 60 mg/Kg | 240 mg/Kg |
| pH | 5.13 | 5.13 | 5.1 | 5.16 |
| ¹L* | 58.59 | 57.32 | 57.48 | 57.48 |
| ¹A* | 3.6 | 4.04 | 4.13 | 4.13 |
| ¹B* | 3.68 | 3.59 | 3.66 | 3.66 |
| Humedad (%)^a | 74.06 | 74.03 | 73.96 | 73.96 |
| Proteína (%)^a | 23.26 | 23.32 | 23.45 | 23.45 |
| Extracto etéreo (%)^a | 2.29 | 2.63 | 2.36 | 2.36 |
| Cenizas (%)^a | 1.1 | 1.13 | 1.12 | 1.12 |

¹ L*: Luminosidad de la carne. A*: Tonalidades rojas de la carne. B*: Tonalidades azules de la carne (Modificado de Corino, y otros, 2007)

Sin embargo, en estudios donde se suplementó la dieta de ganado porcino con CLA en dosis de 1, 2.5 y 5% (respecto al total de la dieta), sí se hallaron efectos significativos en la luminosidad y color de la carne, lo que puede indicar que estos parámetros se ven afectados dependiendo de la dosis de CLA administrada. Además, en este estudio,

se reportó que el contenido de grasa intramuscular y la pérdida de agua relacionados con el contenido de CLA mostraron cambios, como se muestra en la Tabla 7. Al parecer, estas dos características guardan relación, ya que se ha visto que entre mayor marmoleo presenta la carne, menor es la pérdida de agua. Esto puede deberse no solamente al alto contenido de grasa sino a la aparente estabilidad de lípidos de membrana celular asumida por la observación del retraso en la oxidación lipídica de carne con CLA (Joo, y otros, 2002).

Tabla 7. Efectos del CLA administrado en la dieta sobre el pH, color, y porcentaje de goteo en carne de cerdo.

| Medición | Dieta aplicada | | | |
|-------------------------------|----------------|--------|----------|--------|
| | Control | 1% CLA | 2.5% CLA | 5% CLA |
| pH Final | 5.54 | 5.63 | 5.54 | 5.57 |
| Luminosidad, L* | 47.19 | 45.66 | 46.72 | 44.5 |
| Rojo, a* | 6.24 | 7.29 | 7.36 | 6.25 |
| Amarillo, b* | 4.60 | 4.44 | 4.82 | 4.22 |
| Pérdida por goteo, % | 5.13 | 4.87 | 5.06 | 4.38 |
| Grasa intramuscular, % | 2.53 | 2.48 | 2.84 | 3.65 |

(Modificado de Joo, y otros, 2002)

Por otro lado, varios autores han sugerido que el poder antioxidante del CLA mejora la estabilidad del color en la carne (Harthwar, y otros, 2012). El mecanismo de acción no está definido, sin embargo, puede estar relacionado con el hecho de que la velocidad de decoloración de la carne está relacionada con la velocidad de oxidación de la mioglobina durante la oxidación lipídica. Por lo tanto, el poder antioxidante del CLA retrasa la oxidación de la mioglobina, protegiendo así el color de la carne (Hah, y otros, 2006).

Se ha encontrado también que la suplementación con CLA en la dieta de ganado porcino resulta en un aumento en la luminosidad de los cortes de carne durante el almacenamiento (Martin, y otros, 2008).

En otro estudio en el que se suplementó la dieta de grupos de cerdos con dietas con distinto contenido de CLA (1, 2.5, 5% de CLA), se encontró que la cantidad de este ácido graso consumida influenciaba la luminosidad de la carne durante el almacenamiento. La luminosidad de la carne con mayor contenido de CLA aumentó más lentamente a lo largo de 7 días de almacenamiento, en comparación con aquella sin CLA, por lo que al séptimo día, la luminosidad de la carne con 5% de CLA era considerablemente menor que la del control. Este mismo comportamiento se repitió al analizar las tonalidades azules de la carne. (Joo, y otros, 2002).

Esta discrepancia entre estudios en cuanto a luminosidad y color de la carne puede indicar que, además de la dosis administrada, la especie del animal que se estudia cobra importancia al analizar estos parámetros.

Cabe mencionar que se ha encontrado que la suplementación de la carne con CLA no tiene impacto sobre el comportamiento la carne durante el proceso de maduración; el aumento en el contenido de CLA en el músculo no tiene efecto en la incidencia de carne DFD (dura, firme y seca) o PSE (pálida, suave y exudativa) (Joo, y otros, 2002).

4.2 Estabilidad oxidativa del CLA y la carne

Durante el almacenamiento, el contenido y perfil de ácidos grasos de los alimentos se puede modificar. La velocidad de oxidación lipídica depende no sólo del perfil y contenido de grasa, sino también de las condiciones de almacenamiento. Por ejemplo, se ha visto que en carne de pollo adicionada con CLA, la oxidación ocurre más lentamente cuando se

almacena en congelación; además, dicha oxidación presenta un aumento lineal con respecto al tiempo de almacenamiento (Zanini, y otros, 2006).

En el estudio con conejos mencionados en la sección 4.1, se reportó que la suplementación de la dieta con CLA incrementa la estabilidad oxidativa del músculo, aumentando así la vida de anaquel, y disminuyendo tanto la actividad enzimática lipogénica como el contenido de triglicéridos y colesterol en plasma sanguíneo. Además, se encontró que el tiempo de almacenamiento y la dieta administrada afectaban significativamente el contenido de TBARS (sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, por sus siglas en inglés). Adicionalmente, se encontró una interacción significativa entre el tiempo y el tratamiento aplicado. Los grupos de conejos alimentados con CLA fueron asociados con una mayor estabilidad oxidativa en los días 4 y 9 después del sacrificio. Se encontró que al día 1 después del sacrificio, el contenido de TBARS en la carne era similar entre control y dieta con CLA. Sin embargo, al noveno día el contenido de TBARS era hasta 46% mayor en el grupo control. (Corino, y otros, 2007).

Este mismo comportamiento se ha observado en estudios con cerdos, donde la estabilidad oxidativa de la carne en almacenamiento aumentó en comparación con la carne sin CLA. Adicionalmente, se observó que el contenido de CLA no disminuyó a lo largo del almacenamiento, posiblemente debido a la mayor estabilidad oxidativa del CLA comparada con otros ácidos grasos poliinsaturados (Joo, y otros, 2002).

Se ha sugerido que el incremento en la estabilidad oxidativa durante el almacenamiento al suplementar la dieta con CLA se debe al aumento de ácidos grasos saturados, así como a la disminución de ácidos grasos poliinsaturados (a excepción de los isómeros del CLA) (Corino, y otros,

2007). Por otro lado, se ha postulado que un alto contenido de CLA puede reducir la formación de radicales libres de ácidos grasos y las subsecuentes reacciones de oxidación. También se ha sugerido que la estructura conjugada del CLA lo hace menos susceptible al ataque de radicales libres, sin que el mismo CLA actúe como antioxidante (Joo, y otros, 2002).

Por otro lado, parece ser que el medio de suplementación de CLA tiene un impacto sobre el efecto estabilizante de éste sobre los lípidos durante el almacenamiento. Al suplementar la dieta de pollos con diversos niveles de CLA (0, 0.25, 0.50, 0.75 y 1% total de CLA en la dieta) y usando dos diferentes aceites para administrar el CLA (soya y canola), se determinó que la carne proveniente de aquellos animales alimentados con aceite de canola presentaba una menor oxidación que la de los alimentados con aceite de soya, evidenciando un efecto sinérgico para aumentar la estabilidad oxidativa entre el CLA y el aceite usado (Zanini, y otros, 2006).

Una manera de aumentar aún más la estabilidad oxidativa de la carne adicionada con CLA, es añadir también un antioxidante, como la vitamina E. Corino y colaboradores encontraron que al alimentar a conejos con una dieta que no contenía CLA pero sí vitamina E (240mg/kg), y a otro grupo con una dieta que contenía ambos ingredientes (240 mg/kg α -tocoferol, 0.5% CLA), observaron que hasta el cuarto día tras el sacrificio el contenido de TBARS era similar. Sin embargo, después de este tiempo la carne adicionada con CLA mantuvo niveles más bajos comparado con la carne sin CLA, hasta llegar al noveno día, en el que el contenido de TBARS en la carne que sí contenía CLA era hasta 30% menor que en la carne que sólo fue adicionada con vitamina E. Esta información se presenta de manera gráfica en la Figura 4 (Corino, y otros, 2007).

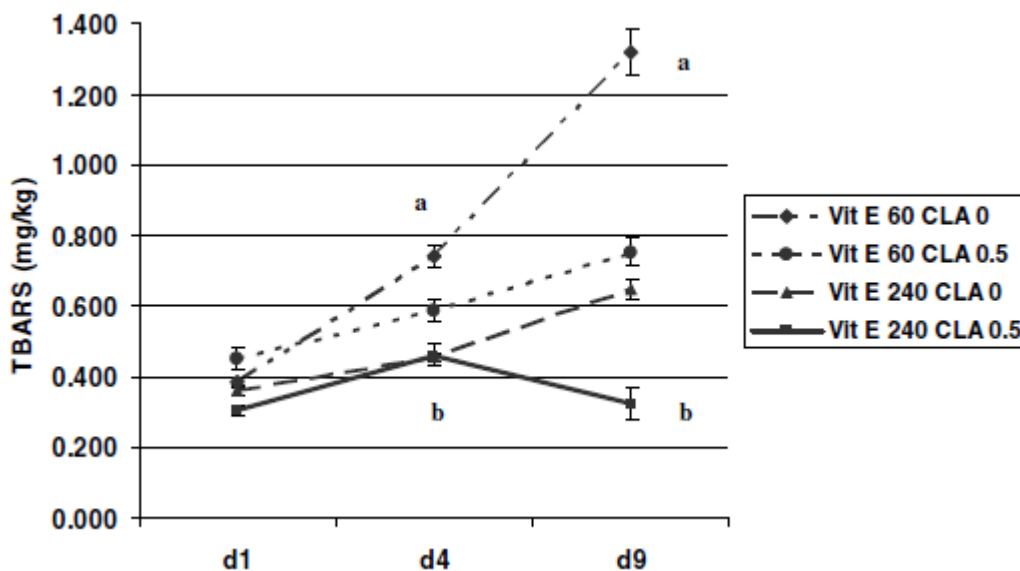


Figura 4 Contenido de TBARS a través del tiempo en carne de conejo suministrada con diferentes concentraciones de Vitamina E y CLA (Corino, y otros, 2007)

En relación a la suplementación de la dieta del animal con vitamina E en cantidades considerables, la ventaja que se puede obtener es que además de actuar como antioxidante, la carne se vuelve una fuente de este nutrimento (Olmedilla - Alonso, y otros, 2013).

Algunos estudios han demostrado que la concentración de CLA en la carne disminuye con el tratamiento térmico si se expresa con base en los gramos de carne; sin embargo, si se expresa con base a porcentaje de grasa total, el contenido de CLA no se ve afectado (Khan, y otros, 2011). Esto lleva a pensar que la disminución se basa en pérdida de agua de la muestra total, y no de CLA.

La concentración de CLA en la carne no se ve afectada por el almacenamiento. (Schmid, y otros, 2006). Esto se ha confirmado en numerosos estudios, por ejemplo, al sustituir una parte de la grasa de una formulación de paté con CLA (sustitución del 50% con respecto a la grasa total), al pasar 71 días en almacenamiento a 4°C, la

concentración de los dos isómeros usados (*c9*, *t11*-CLA, *t10*, *c12*-CLA) no decreció (Martin, y otros, 2008).

Parece ser que bajo condiciones oxidativas, el CLA tiene una menor velocidad de oxidación en comparación con formas no conjugadas de ácido linoleico (Martin, y otros, 2008).

En el estudio de elaboración de paté mencionado anteriormente, se detectó un incremento importante en el contenido de ácidos grasos insaturados. A pesar de esto, no se reportó una disminución en la vida de anaquel por oxidación lipídica (Martin, y otros, 2008). Esto se ha confirmado en otros estudios, por ejemplo, en un estudio en el que se sustituyó una parte de la grasa de la formulación de salchichas por CLA, se encontró que el CLA tiene un efecto antioxidante durante el almacenamiento.

En este mismo estudio, se determinó que debido a su efecto antioxidante, el CLA contribuye a disminuir el contenido de nitratos residuales en las salchichas, lo que disminuye la toxicidad de estos compuestos. Sin embargo, el mecanismo exacto mediante el cual se da esta reacción no se ha estudiado (Hah, y otros, 2006).

Hah y sus compañeros encontraron que al sustituir una parte de la grasa de las salchichas con CLA, la aceptación del producto disminuía, posiblemente debido a un ligero cambio en el sabor. Adicionalmente, un mayor contenido de ácidos grasos insaturados conlleva a una textura más suave, lo que pudo haber contribuido al rechazo obtenido. Esto indica que quizá habría que estudiar el uso de aditivos para mejorar sabor y textura en productos cárnicos adicionados con CLA, aunque se debe considerar que esto incrementaría el costo de los productos.

Por otro lado, es interesante observar el efecto que tienen los tratamientos aplicados para preservar la carne sobre el contenido de CLA. Alfaia y colaboradores realizaron un estudio en el cual se alimentó a grupos de ovejas con dietas suplementadas o no con aceites vegetales con alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados con el objetivo de obtener carne con diferentes niveles de CLA. Posteriormente, se obtuvieron cortes de carne, los cuales se empacaron al vacío y se les aplicó un tratamiento de irradiación gamma (7 kGy). Al analizar el contenido de CLA en la carne irradiada *versus* la no irradiada, no se encontró diferencia significativa, como puede observarse en la Tabla 8 (Alfaia, y otros, 2007).

Tabla 8. Contenido total y específico de CLA y sus isómeros individuales en carne de oveja no irradiada (control) e irradiada (7 kGy)

| CLA Total (µg/g músculo) | No Irradiada | Irradiada |
|---------------------------------------|--------------|-----------|
| | 204.3 | 212.1 |
| CLA Específico (mg/g grasa) | 14.4 | 14.7 |
| Isómeros de CLA (% CLA total): | | |
| T12, t14 | 1.23 | 1.39 |
| T11, t13 | 2.41 | 2.82 |
| T10, t12 | 0.47 | 0.43 |
| T9, t11 | 2.17 | 2.92 |
| T8, t10 | 0.18 | 0.2 |
| t7, t9 | 0.35 | 0.38 |
| t6, t8 | 0.05 | 0.04 |
| Total trans, trans | 6.87 | 8.18 |
| c/t 12,14 | 1.05 | 1.05 |
| t11, c13 | 10.3 | 10.1 |
| c11, t13 | 0.1 | 0.08 |
| t10, c12 | 0.35 | 0.31 |
| c9, t11 | 78 | 77 |
| t7, c9 | 2.91 | 2.94 |
| Total cis/trans | 92.8 | 91.4 |
| Total cis, cis (c9,c11) | 0.36 | 0.37 |

(Alfaia, y otros, 2007)

La irradiación tampoco tuvo efecto significativo sobre el contenido porcentual de la mayoría de los isómeros individuales de CLA; sin embargo, se encontró una tendencia a disminuir en los porcentajes de isómeros individuales *cis/trans* (-1.4%) contra isómeros *trans/trans* (+1.3%) en carne irradiada, lo cual puede deberse a la diferencia en la estabilidad oxidativa de varios grupos de isómeros geométricos del CLA. De hecho, se ha observado que la estabilidad de los isómeros del CLA está determinada por su configuración *cis* o *trans*, y no por la posición de sus dobles enlaces. Adicionalmente, se ha visto que los isómeros *cis/trans* son más susceptibles a sufrir autooxidación que aquellos isómeros de tipo *trans/trans*, posiblemente debido a la mayor inestabilidad ante ataques de oxígenos de los dobles enlaces en forma *cis* (Alfaia, y otros, 2007).

Análisis final

A pesar de que falta estudiar y definir los mecanismos de acción, está comprobado que el ácido linoléico conjugado puede contribuir a mejorar la salud del ser humano mediante la estimulación de la formación ósea, de la pérdida de grasa corporal, mejora en la respuesta inmune, prevención contra el cáncer y regulación de la diabetes. Sin embargo, debido a que la evidencia sugiere que los diferentes isómeros de CLA generan cambios diversos en el cuerpo, es necesario definir qué objetivo se busca con un alimento funcional que incluya CLA con el fin de elegir el isómero a añadir, o bien, direccionar la conversión de ácido linoléico en el ganado al isómero de CLA deseado. Por ejemplo, si se busca promover una reducción en la grasa corporal, se debe dar prioridad a la inclusión del isómero *t10, c12*-CLA, el cual a su vez presenta la mayor actividad antiaterogénica. Sin embargo, si lo que se busca es que el alimento funcional actúe como coadyuvante en el tratamiento de la artritis reumatoide, es el isómero *c9, t10*-CLA el que tiene un efecto mayor. Este mismo isómero es el responsable de la disminución de la resistencia a la insulina. En este tenor, los dos isómeros principales del CLA (*c9, t10*-CLA y *t10, c12*-CLA) tienen efectos opuestos, ya que el *t10, c12*-CLA aumenta la resistencia a la insulina. Esto no hace más que confirmar el hecho de que hay que tener bien definido el objetivo del alimento funcional a diseñar, así como la población que lo consumirá. Es importante analizar también que al mezclar los isómeros los efectos que éstos producen también pueden modificarse; siguiendo con el ejemplo de la resistencia a la insulina, al mezclar los dos isómeros mencionados, la resistencia no presenta cambios.

Es necesario hacer más estudios en humanos para verificar si los hallazgos en estudios animales son realmente extrapolables al ser humano, ya que en estos modelos se han usado condiciones diferentes a

las utilizadas en estudios con humanos, tales como dosis y duración de los estudios. Esto ha derivado en discrepancias en resultados o bien, una efectividad menor del CLA en el humano contra la reportada en animales.

Debido al aumento en el consumo de carne y los beneficios que éste presenta, tales como aporte de proteínas, nutrimentos inorgánicos, y vitaminas, la carne es una buena matriz para diseñar alimentos funcionales que contengan ácido linoléico conjugado. Sin embargo, ya que el consumo de carne se asocia con un alto poder adquisitivo, es necesario definir claramente a qué nivel socioeconómico irá dirigido el alimento funcional, así como las necesidades que puede presentar dicho segmento de la población en términos de salud: ¿requieren controlar la diabetes? ¿Necesitan disminuir su porcentaje de grasa corporal?, etc.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que el beneficio que se pretenda obtener con el alimento funcional a diseñar debe estar sustentado científicamente.

Al diseñar un alimento cárnico funcional adicionado con CLA, la mejor manera es añadir este ácido graso a la alimentación del animal, para que de esta manera se deposite en el tejido muscular, y de esta forma evitar lidiar con regulaciones relacionadas con la adición de CLA como aditivo en el proceso tecnológico del alimento. Asimismo, la adición exógena de ácidos grasos poliinsaturados en los productos cárnicos puede derivar en la pérdida de hasta el 30% de éstos durante el tratamiento térmico aplicado. Una ventaja adicional de la inclusión de CLA directamente en la dieta del ganado, es que se genera una carne con menor susceptibilidad a la oxidación y cambios en el color, así como mayor marmoleo y firmeza, obteniendo un producto con características sensoriales más deseables. De esta forma, este método contribuye a la

disminución en el contenido de ácidos grasos monoinsaturados y saturados, y al aumento en el contenido de ácidos grasos poliinsaturados, obteniéndose así un perfil lipídico más sano para el consumidor, ya que los ácidos grasos insaturados ayudan a regular la cantidad de lipoproteínas de baja densidad unidas al colesterol y, por ende, reducen el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares. Sin embargo, es importante considerar que una ventaja de añadir el CLA como aditivo en el procesamiento de la carne, es que resulta más barato.

Para aumentar el contenido de CLA en la carne de rumiantes, lo mejor es usar una dieta base que tenga mayor contenido de concentrado en relación con la paja o el ensilado, ya que el concentrado disminuye la biohidrogenación de ácidos grasos poliinsaturados, genera un ambiente favorable para las bacterias fermentadoras de fibra y reduce la síntesis endógena de grasa, evitando la dilución de ácidos grasos poliinsaturados.

Para aumentar el contenido de CLA en la carne mediante la adición de éste o bien, de sus precursores en la dieta, lo mejor es usar aceites vegetales, como aquellos de soya y de canola o bien semillas de linaza y girasol. La semilla de soya, en especial, aumenta el contenido de *c9, t10*-CLA, sobre todo si se le ha aplicado tratamiento térmico ya que disminuye el grado de biohidrogenación de ácidos grasos poliinsaturados en el rumen.

Es importante también analizar el tipo de ganado que se usará para obtener la carne con la cual se elaborará el alimento funcional. En el caso de no rumiantes, como el puerco, el CLA administrado se deposita directamente en los tejidos, mientras que en rumiantes hay que

considerar el efecto del proceso que sufren los nutrimentos suministrados en el rumen del animal.

Algunos factores como la especie, raza y edad juegan un papel interesante en la deposición de CLA en los tejidos de los animales, tanto en la cantidad como en los isómeros depositados. Tomando como ejemplo el ganado bovino, las vacas de mayor edad son buenos candidatos para suplementación de la dieta con CLA, ya que presentan una alta cantidad de isómeros del tipo *cis*, *trans*, a diferencia de los toros jóvenes, quienes presentan más bien isómeros del CLA del tipo *cis*, *cis* y *trans*, *trans*.

Siguiendo esta línea, una consideración importante al diseñar la dieta del ganado rumiante para aumentar el contenido de ácido linoléico conjugado en su carne, es que estos animales pueden consumir un máximo de 6% de aceite de grano para evitar afectaciones en las funciones del rumen. Adicionalmente, dependiendo del tipo de ganado que se utilice, se deben analizar los efectos que el aceite o semilla suministrada puede tener con el CLA, ya que se pueden presentar efectos sinérgicos que resultan favorables. Tal es el caso del aceite de soya al suministrar CLA a pollos, ya que éste, en comparación con el aceite de canola, derivó en una mayor estabilidad oxidativa del producto. Por otro lado, en general es conveniente suplementar la dieta del ganado con vitamina E, para que ésta actúe como antioxidante, protegiendo así al ácido linoléico conjugado que se suministre.

Un factor primordial a considerar es la salud del consumidor al que irá dirigido el producto. Es por ello que a pesar de que una dieta para el ganado a base de concentrado reporta mayores cantidades de CLA depositado en los tejidos, se debe analizar si es conveniente, debido a que el uso de concentrado en la dieta base genera una mayor cantidad

de isómeros *trans*, *trans* de CLA. En este tenor, es importante considerar que el CLA aumenta la proporción de ácidos grasos saturados/poliinsaturados, por lo que se deben incluir ácidos grasos monoinsaturados en la dieta del animal para balancear el perfil lipídico obtenido.

En cuanto al proceso tecnológico que se aplique a la carne obtenida, se debe considerar que el tratamiento térmico aumenta la proporción de ácidos grasos insaturados/saturados, y no afecta ni la cantidad de CLA.

Cabe mencionar que el ácido linoléico conjugado no tiene impacto en ninguna característica de la carne, como pH, humedad, contenido proteínico ni de cenizas; tampoco impacta en los defectos que puede presentar la carne, como son carne DFD y PSE, por lo que es importante cuidar la parte del sacrificio del animal y el proceso de maduración de la carne, ya que éstos son factores que pueden determinar la aparición de los defectos antes mencionados.

Es importante destacar el hecho de que el CLA administrado en la dieta del ganado aumenta la estabilidad oxidativa de la carne debido al aumento en la concentración de los ácidos grasos saturados, mejorando así la vida de anaquel de los productos elaborados. Adicionalmente, aumenta la estabilidad del color y la luminosidad de la carne, esto último debido a una disminución en la velocidad de la oxidación de la mioglobina gracias al poder antioxidante del ácido linoléico conjugado.

Por otro lado, el almacenamiento no afecta el contenido de CLA en la carne, e inclusive, puede ayudar a disminuir la concentración de nitratos residuales en salchichas, lo que le da una ventaja adicional al uso de CLA en este tipo de productos.

Finalmente, el aumento de ácidos grasos poliinsaturados en un producto cárnico implica una textura más suave, así como un ligero cambio en el sabor, por lo que sería bueno analizar el uso de aditivos como gomas y saborizantes en el proceso, para que no impacten en la aceptación del producto por parte del consumidor, considerando a su vez el impacto que esto tendría sobre el costo del producto.

Conclusiones

- El ácido linoléico conjugado es considerado un ingrediente funcional debido a que su consumo genera numerosos beneficios al cuerpo humano, como la regulación del peso corporal y un efecto y una acción en contra de la diabetes.
- La carne es una buena matriz para desarrollar alimentos funcionales adicionados con ácido linoléico conjugado ya que su consumo es frecuente.
- Es fácil aumentar el contenido de CLA en la carne mediante su adición a la dieta del ganado. Además, se obtienen productos con mayor vida de anaquel y un perfil lipídico sano para el consumidor.
- Al desarrollar un alimento funcional cárnico adicionado con CLA, las variables a analizar son: mercado al cual irá dirigido el producto, beneficios a la salud que se esperan obtener mediante el consumo del alimento funcional en cuestión, tipo de ganado a utilizar y la dieta que se le administrará, procesos tecnológicos que se aplicarán en el desarrollo del producto, y uso de aditivos para mejorar aspectos sensoriales del producto final.
- El consumo de productos cárnicos adicionados con CLA puede ayudar en la prevención y tratamiento de enfermedades que afectan a la población mundial, tales como cáncer y diabetes, y elevar el sistema inmune.
- Es necesario realizar más estudios en humanos para definir los efectos que el consumo de los diferentes isómeros de CLA tiene a corto y largo plazo, así como qué dosis es más adecuado administrar.

Bibliografía

1. **Alfaia Cristina [y otros]** Irradiation effect on fatty acid composition and conjugated linoleic acid isomers in frozen lamb meat [Publicación periódica] // Meat Science, 77. - 2007. - págs. 689-695.
2. **Arihara K.** Strategies for designing novel functional meat products [Publicación periódica] // Meat Science, 74. - 2006. - págs. 219 - 229.
3. **Benjamin S. y Spener F.** Conjugated linoleic acids as functional food: an insight into their health benefits [Publicación periódica] // Nutrition & Metabolism. - 2009.
4. **Biesalski H. K.** Meat as a component of a healthy diet - are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet? [Publicación periódica] // Meat Science, 70. - 2005. - págs. 509 - 524.
5. **Bigliardi Barbara y Galati Francesco** Innovation trends in the food industry: The case of functional foods. [Publicación periódica] // Trends in Food Science & Technology, 31. - 2013. - págs. 118-129.
6. **Cencic Avrelija y Chingwaru Walter** The role of functional foods, nutraceuticals, and food supplements in intestinal health [Publicación periódica]. - [s.l.] : Nutrients, 2, 2010.
7. **Corino C. [y otros]** Influence of dietary conjugated linoleic acids and vitamin E on meat quality, and adipose tissue in rabbits [Publicación periódica] // Meat Science, 76. - 2007. - págs. 19-28.
8. **De la Torre A. [y otros]** Factors influencing proportion and composition of CLA in beef [Publicación periódica] // Meat Science, 73. - 2006. - págs. 258-268.
9. **Decker E. y Park Y.** Healthier meat products as functional foods [Publicación periódica] // Meat Science, 86. - 2010. - págs. 49 - 55.
10. **Dervishi Elda [y otros]** Effect of the feeding system on the fatty acid composition, expression of the delta-9-desaturase, peroxisome proliferator activated receptor alpha, gamma, and sterol regulatory element binding protein 1 genes in the semitendinous muscle of light lambs [Publicación periódica] // BMC Veterinary Research, 6. - 2010. - págs. 40-53.
11. **Flintoff-Dye N. y Stanley O.** Antioxidant effects of conjugated linoleic acid isomers in isolated human low-density lipoproteins [Publicación periódica] // Nutrition Research, 25. - 2005. - págs. 1-12.
12. **Gaullier Jean-Michael [y otros]** Supplementation with conjugated linoleic acid for 24 months is well tolerated by and reduces body fat mass in healthy, overweight humans [Publicación periódica] // The journal of nutrition, 135. - 2005. - págs. 778-784.
13. **Gerber N., Scheeder M.R.L. y Wenk C.** The influence of cooking and fat trimming on the actual nutrient intake from meat [Publicación periódica] // Meat Science, 81. - 2009. - págs. 148 - 154.

14. **Givens D.I., Kliem K. y Gibbs R.** The role of meat as a source of n - 3 polyunsaturated fatty acids in the human diet [Publicación periódica] // Meat Science, 74. - 2006. - págs. 209 - 218.
15. **Gudkov Andrei, Gurova Katerina y Komarova Elena** Inflammation and p53: A Tale of Two Stresses [Publicación periódica] // Genes & Cancer, 2 (4). - 2011. - págs. 503-516.
16. **Hah K. [y otros]** Effect of substituted conjugated linoleic acid for fat on meat qualities, lipid oxidation and residual nitrite content in emulsion-type sausages [Publicación periódica] // Aisan - Aust. J. Anim. Sci. Vol 19, No. 5. - 2006. - págs. 744-750.
17. **Harthwar S. [y otros]** Characteristics and consumer acceptance of healthier meat and meat products - a review [Publicación periódica] // Journal of Food Science and Technology, 49. - 2012. - págs. 653 - 664.
18. **Herman - Lara E. [y otros]** Conjugated linoleic acid content in selected Mexican beef and dairy products [Publicación periódica] // CyTA Journal of Food. - 2012. - págs. 71 - 77.
19. **Huang Y. [y otros]** Biological Effects of Conjugated Linoleic Acid [Sección de libro] // Fatty Acids in Foods and their Health Implications / aut. libro Kuang C.. - Estados Unidos : CRC Press, 2007.
20. **Hur S.J. y Park Y.** Effect of conjugated linoleic acid on bone formation and rheumatoid arthritis [Publicación periódica] // European Journal of Pharmacology, 568. - 2007. - págs. 16-24.
21. **Joo S. T. [y otros]** Effects of dietary conjugated linoleic acid on fatty acid composition, lipid oxidation, color and water holding capacity of pork loin [Publicación periódica] // Journal of Animal Science, 80. - 2002. - págs. 108-112.
22. **Joo S.T., Hur S.J. y Park G.B.** Biological activities of conjugated linoleic (CLA) and effects of CLA on animal products [Publicación periódica] // Livestock Science, 110. - 2007. - págs. 221-229.
23. **Juárez M. [y otros]** Cooking effect on fatty acid profile of pork breakfast sausages enriched in conjugated linoleic acid by dietary supplementation or direct addition [Publicación periódica] // Food Chemistry, 117. - 2009. - págs. 393-397.
24. **Katan Martjin** Health claims for functional foods [Publicación periódica]. - [s.l.] : BMJ, 328, 2004.
25. **Khan M. [y otros]** Meat as a functional food with special reference to probiotic sausages [Publicación periódica] // Food Research International, 44. - 2011. - págs. 3125-3133.
26. **Mapiye C. [y otros]** The labile lipid fraction of meat: From perceived disease and waste to health and opportunity [Publicación periódica] // Meat Science, 92. - 2012. - págs. 210 - 220.
27. **Martin D. [y otros]** Oxidative changes of fresh loin from pig, cause by dietary conjugated linoleic acid and monounsaturated fatty acids, during refrigerated storage [Publicación periódica] // Food Chemistry, 111. - 2008. - págs. 730-737.

28. **Martin D. [y otros]** Partial replacement of pork fat by conjugated linoleic acid and/or olive oil in liver patés: Effect on physicochemical characteristics and oxidative stability [Publicación periódica] // Meat Science, 80. - 2008. - págs. 496 - 504.
29. **Mc Niven M. A. [y otros]** Ratio of n - 6/ n - 3 in the diets of beef cattle: Effect on growth, fatty acid composition and taste of beef. [Publicación periódica] // Animal Feed Science and Technology, 170. - 2011. - págs. 171 - 181.
30. **Moser Leta y Ordman Alfred** design for a study to determine optimal dosage of ascorbic acid and alpha-tocopherol in humans [Publicación periódica] // Age, 28 (1). - 2006. - págs. 77-84.
31. **Oleszczuck J. [y otros]** Biological effects of conjugated linoleic acids supplementation [Publicación periódica] // Polish Journal of Veterinary Sciences, Vol. 15, No. 2. - 2012. - págs. 403 - 408.
32. **Olmedilla - Alonso B., Jiménez - Colmenero F. y Sánchez - Muniz F.** Development and assessment of healthy properties of meat and meat products designed as functional foods [Publicación periódica] // Meat Science, 95. - 2013. - págs. 919 - 930.
33. **Pariza M. W. y Hargraves W. A.** A beef-derived mutagenesis modulator inhibits initiation of mouse epidermal tumors by 7,12-dimethylbenz(a)anthracene [Publicación periódica] // Carcinogenesis. - 1985. - págs. 591-593.
34. **Park Y. y Pariza M.** Mechanisms of body fat modulation by conjugated linoleic acid [Publicación periódica] // Food Research International, 40. - 2007. - págs. 311-323.
35. **Rainer L. y Heiss C.** Conjugated Linoleic Acid: Health Implications and Effects on Body Composition [Publicación periódica] // Journal of the American Dietetic Association, 104. - 2004. - págs. 963-968.
36. **Russo G.** Dietary n - 6 and n - 3 polyunsaturated fatty acids: From biochemistry to clinical implications in cardiovascular prevention [Publicación periódica] // Biochemical Pharmacology, 77. - 2009. - págs. 937-946.
37. **Schmid A. [y otros]** Conjugated linoleic acid in meat and meat products: ArReview [Publicación periódica] // Meat Science, 73. - 2006. - págs. 29 - 41.
38. **Siegrist M., Stampfli N. y Kastenholz H.** Consumers' willingness to buy functional foods. The influence of carrier, benefit and trust. [Publicación periódica] // Appetite, 51. - 2008. - págs. 526 - 529.
39. **Siró István [y otros]** Functional Food. Product development, marketing and consumer acceptance - a review [Publicación periódica] // Appetite, 51. - 2008. - págs. 456-467.
40. **Syversten C. [y otros]** The effect of 6 months supplementation with conjugated linoleic acid on insulin resistance in overweight and obese [Publicación periódica] // International Journal of Obesity, 31. - 2007. - págs. 1148-1154.
41. **Wang Dingzhi y DuBois Raymond** Eicosanoids and cancer [Publicación periódica] // Nat Rev Cancer, 10 (3). - 2010. - págs. 181-193.

42. **Wood J.D. [y otros]** Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: a review [Publicación periódica] // Meat Science, 78. - 2008. - págs. 343-358.
43. **Zanini S. F. [y otros]** Oxidative stability and total lipids on thigh and breast meat of broilers fed diets with two fat sources and supplemented with conjugated linoleic acid [Publicación periódica] // LWT, 39. - 2006. - págs. 717-723.
44. **Zhang W. [y otros]** Improving functional value of meat products [Publicación periódica] // Meat Science, 86. - 2010. - págs. 15 - 31.