



Received: October 23, 2023 / Accepted: December 12, 2023

Artículo de Revisión

Cambios químicos y bioquímicos en lípidos por procesamiento y almacenamiento

Chemical and biochemical changes in lipids during processing and storage

A. B. Chávez-Vela^{1*} , C. I. Cuentas-Barrios¹ , M. Zúñiga-Olaguibel¹ 



<https://doi.org/10.51431/par.v5i2.860>

Resumen

El estudio es una revisión de los cambios químicos y bioquímicos en los lípidos durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos. Se realizó una revisión sistemática de varios artículos científicos utilizando varios motores de búsqueda. La información recopilada se evaluó y sintetizó críticamente. La oxidación lipídica es un proceso crucial que conduce a la formación de ácidos grasos libres, aldehídos, compuestos volátiles y otros productos de degradación. Estos cambios impactan negativamente en el sabor, aroma y calidad nutricional de los productos alimenticios y pueden comprometer su estabilidad con el tiempo. Estos hallazgos destacan la importancia de comprender estos procesos para garantizar la calidad de los alimentos y la salud del consumidor.

Palabras clave: Lípidos, Oxidación lipídica, Compuestos polares

Abstract

The study is a review of the chemical and biochemical changes in lipids during food processing and storage. A systematic review of several scientific articles was performed using several search engines. The information collected was critically evaluated and synthesized. Lipid oxidation is a crucial process leading to the formation of free fatty acids, aldehydes, volatile compounds and other degradation products. These changes negatively impact the taste, aroma and nutritional quality of food products and can compromise their stability over time. These findings highlight the importance of understanding these processes to guarantee food quality and consumer health.

Keywords: Lipids, Lipid oxidation, Polar compounds.

¹ Escuela de Post grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho, Lima, Perú

* Autor para correspondencia: alexischavez@solvet.com.pe

Introducción

Los lípidos son biomoléculas orgánicas formadas a partir de carbono (C), hidrogeno (H), oxígeno (O) en porcentajes más bajos y adicionalmente pueden contener también fósforo (P), nitrógeno (N) y azufre (S). Constituyen uno de los principales componentes de los alimentos y son importantes en la dieta humana por su aporte energético y nutricional, así como materia prima en la elaboración de otros productos y componen la mayoría de sistemas biológicos (Zheng et al., 2019). Una de las insuficiencias más resaltantes de los lípidos es su poca estabilidad con el tiempo, ya que se oxidan con relativa facilidad y es tal vez el proceso más importante que se lleva a cabo en los alimentos, por esta razón es objeto de numerosas investigaciones. La degradación de lípidos es un proceso bioquímico y químico esencial que afecta la calidad, sabor, aroma y valor nutricional de los alimentos. Los lípidos, son susceptibles a diversas transformaciones debido a factores como la temperatura, la exposición al oxígeno y la luz, así como a reacciones enzimáticas y no enzimáticas. Estos procesos de degradación dan lugar a una serie de compuestos químicos que pueden influir tanto en la seguridad alimentaria como en la salud del consumidor. Los cambios en los lípidos es un campo de estudio crucial para comprender los mecanismos subyacentes a la formación de productos de degradación ya que su identificación y cuantificación proporciona información valiosa sobre el grado de deterioro de los lípidos presentes en los alimentos. El

objetivo del presente trabajo fue realizar una revisión bibliográfica de los cambios químicos y bioquímicos en los lípidos durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos.

Metodología

Se utilizó la metodología de revisión sistemática de varios artículos científicos de donde se recopiló evaluó y sintetizó la información de manera objetiva. Se utilizaron como motores de búsqueda Sciencedirect, Pubmed, Google Scholar y Scielo; como gestor de referencias se utilizó el programa Mendeley.

Resultados

Las grasas y los aceites

Se usa el término grasa para referirse a los lípidos de origen animal y aceite para los de origen vegetal. Otra clasificación, considera grasa a aquellas que son sólidas y aceites a las que son líquidas a temperatura ambiente. Los lípidos o materia grasa pueden estar en forma visible, separados de su fuente original animal o vegetal (manteca, tocino, grasas de repostería, aceites de ensaladas) o ser constituyentes de alimentos básicos como la leche, el queso, la carne o semillas. Las grasas o aceites son considerados estructuralmente menos complejos que las proteínas y los hidratos de carbono ya que están formados en un 95-99% por triacilglicerol (triglicéridos), los cuales son compuestos relativamente simples (Juárez & Sammán, 2007). La clasificación de los lípidos de acuerdo a su estructura química se detalla en la tabla 1.

Tabla 1

Clasificación de los lípidos de acuerdo a su estructura química

| Principales clases | Subclases | Descripción |
|---|--|--|
| Lípidos simples: Esteres de ácidos grasos y alcoholes | Grasas y aceites | Esteres de glicerol con ácidos grasos monocarboxílicos. |
| | Ceras | |
| Lípidos compuestos: Lípidos simples conjugados con moléculas no lipídicas | Fosfolípidos | Esteres de alcoholes monohidroxilados de longitud de cadena larga y ácidos grasos. Esteres que contienen ácido fosfórico en lugar de un ácido graso, combinado con una base de nitrógeno. Compuestos de hidratos de carbono, ácidos grasos y esfingosinol. Llamados también cerebrósidos. Compuestos de lípidos y proteínas. |
| | Glicolípidos | |
| Lípidos derivados | Lipoproteínas Ácidos grasos (derivados de los lípidos simples) Pigmentos Vitaminas liposolubles | Carotenoides Vit. A, D, E y K Colesterol, ergosterol, ácidos biliares, hormonas esteroides Hidrocarburos alifáticos |
| | Hidrocarburos | |

Desde la prehistoria, la gente ha utilizado el calor en los alimentos para modificar su sabor o textura y mejorar su conservación, la mayoría de los alimentos que se consumen se someten a un proceso térmico y dependiendo de la naturaleza del alimento y las condiciones del tratamiento, el calor produce diversos cambios químicos y físicos en todos los componentes del alimento. A elevadas temperatura, como en el proceso de fritura, las grasas sufren una serie compleja de reacciones tales como autooxidación, polimerización térmica, oxidación térmica, isomerización, ciclación e hidrólisis, las que son responsables de los cambios en la calidad del aceite (Nawar, 1984). Someter a los ácidos grasos y triacilglicéridos a altas temperaturas resultan en la descomposición de estas, generando una variedad de productos. En los ácidos grasos saturados, se requieren temperaturas muy elevadas para observar una descomposición significativa. Sin embargo, técnicas sensibles han identificado la formación de productos termolíticos como alcanos, alquenos, ácidos grasos, cetonas, ésteres y diacilglicéridos cuando se calientan triacilglicéridos a 180°C en condiciones de vacío.

En el caso de los ácidos grasos insaturados, prevalece la formación de compuestos dímeros. Estos comprenden dehidrodímeros generados por la unión de radicales alilo o pentadienilo. También hay dímeros saturados y compuestos policíclicos procedentes de adiciones intramoleculares a enlaces dobles C-C. Las reacciones de tipo Diels-Alder contribuyen a la dimerización y polimerización de ácidos grasos insaturados. Estas reacciones subrayan la complejidad de los cambios químicos que se manifiestan en ácidos grasos y triacilglicéridos bajo altas temperaturas. Comprender estas reacciones es crucial en industrias alimentarias y bioquímicas para optimizar procesos y controlar la transformación de estos compuestos.

Oxidación

La oxidación de lípidos en alimentos es el parámetro de calidad más importante y es un proceso crítico que afecta su calidad, valor nutricional y seguridad para el consumo humano (Barden & Decker, 2016). Los lípidos son componentes esenciales en la dieta humana, proporcionando energía y ácidos grasos esenciales. Sin embargo, la autooxidación de lípidos, también conocida como rancidez oxidativa, es un proceso que deteriora los

alimentos ricos en lípidos y sus derivados. Este fenómeno resulta en cambios en el sabor, aroma, valor nutricional de los alimentos y genera compuestos tóxicos vinculados a enfermedades como el cáncer (Juárez & Sammán, 2007). La oxidación lipídica reduce la vida útil de muchos productos alimenticios complejos y el valor nutritivo de los alimentos al limitar el contenido de ácidos grasos poliinsaturados esenciales (Böttcher et al., 2015).

Para Ahmed et al. (2016) la oxidación lipídica es un proceso significativo que afecta la calidad de los alimentos y este fenómeno se manifiesta en los triglicéridos y fosfolípidos de los alimentos debido a la distinción entre lípidos polares (fosfolípidos) y lípidos neutros (triglicéridos); ya que este proceso involucra la generación de precursores reactivos de oxígeno y radicales libres, que tiene un impacto en múltiples interacciones entre los componentes de los alimentos, generando tanto productos deseables como indeseables. Los lípidos en los alimentos son particularmente susceptibles a la oxidación, y como resultado, las reacciones de oxidación son una de las principales causas de deterioro que pueden ocurrir a lo largo de la fabricación, almacenamiento, distribución y preparación final de los alimentos.

Fahy et al. (2005) precisa que la oxidación de lípidos ocurre en varias fases. En la fase de iniciación, los lípidos insaturados reaccionan con el oxígeno atmosférico o radicales libres, generando radicales peróxidos. Los hidroperóxidos son los principales productos de esta etapa, siendo altamente reactivos. En la fase de propagación, los radicales peróxidos reaccionan con otras moléculas de lípidos, creando nuevos radicales y formando compuestos peroxidados. Estos compuestos son altamente reactivos y contribuyen al deterioro del alimento. Finalmente, en la fase de terminación, los radicales reactivos se agotan, y se forman productos de degradación, como aldehídos y cetonas, que afectan la calidad sensorial de los alimentos. Por otra parte, los hidroperóxidos se degradan de diversas maneras, produciendo compuestos que contribuyen al deterioro del alimento.

Los principales tipos de degradación de hidroperóxidos incluyen la formación de aldehídos y cetonas a través de reacciones de ruptura de la cadena lateral de los lípidos. Estos compuestos, como el malondialdehído (MDA),

son responsables de los sabores y olores rancios en los alimentos oxidados. Además, los hidroperóxidos dan lugar a la formación de compuestos polares y ácidos grasos cíclicos, que son indicadores de la calidad de los aceites de fritura. Para evaluar la oxidación de lípidos, se utilizan métodos analíticos como el índice de peróxidos, que detecta la formación de compuestos peroxidados en los alimentos, se basa en la capacidad de los peróxidos para oxidar iones ferrosos a férricos, lo que produce un cambio en la absorbancia. Sin embargo, la elección de los métodos de análisis debe considerar la polaridad de los lípidos y la matriz alimentaria (Wang et al., 2023).

La fritura por ejemplo, es una práctica común en la preparación de alimentos, pero conlleva la exposición de los aceites a altas temperaturas y oxígeno, lo que acelera la oxidación de los lípidos. La formación de compuestos polares y ácidos grasos cíclicos es un indicador de la calidad del aceite, y la adición de antioxidantes ayuda a reducir la oxidación, pero las pérdidas de antioxidantes también ocurren durante la fritura y el almacenamiento. Es así que el almacenamiento adecuado de los aceites es esencial para mantener su calidad, así como el tipo de envase, la temperatura y el tiempo de almacenamiento.

Autooxidación

La reacción de autooxidación conduce a la descomposición de los lípidos y la formación de una amplia gama de productos de oxidación. Cuando el sustrato lipídico (LH) se expone al calor, la luz o los iones metálicos, se extrae su átomo de hidrógeno de doble enlace y se forma un radical libre o alquilo (L). Estos radicales libres reaccionan con el oxígeno y el radical peroxi (LOO) se forma restando átomo de hidrógeno de otros ácidos grasos insaturados. Conduce a la formación de productos de oxidación primaria llamados hidroperóxidos (LOOH) por los mecanismos de iniciación, propagación y terminación (Lee et al., 2004). La duración del ciclo de propagación es directamente proporcional al grado de insaturación lipídica. Estos productos de oxidación primaria no son estables y se descomponen en compuestos carbonílicos como aldehído, cetonas y alcoholes (Tirosh et al., 2015).

Fotooxidación

La fotooxidación es un proceso que genera compuestos oxidados en alimentos, incluyendo cetonas, aldehídos, ácidos carboxílicos, ácidos grasos, ésteres, epoxis, sulfóxidos, sulfonas, fenoles, anhídridos, quinonas y alcoholes (Lee, 2003). Esto ocurre en presencia de sensibilizadores de luz, donde el oxígeno triplete se transforma en oxígeno singlete, una molécula altamente reactiva pero no radical. Este proceso necesita menos energía para que el oxígeno singlete reaccione con los alimentos en comparación con el oxígeno triplete, lo que significa que la temperatura tiene poco efecto sobre la oxidación causada por el oxígeno singlete en comparación con el oxígeno triplete (Min & Boff, 2002). La fotooxidación ocurre cuando los aceites están expuestos a la radiación solar, ya sea en aceites crudos o refinados. Si la longitud de onda de la luz solar es inferior a 220 nm, los ácidos grasos insaturados no pueden absorber la luz. Sin embargo, durante la fotooxidación, moléculas sensibilizadoras como la clorofila, la porfirina o los colorantes como la rosa de bengala absorben la energía de la luz y convierten el sensibilizador de estado triplete en sensibilizador de estado singlete (Lee, 2003).

Polimerización

Jackson & Penumetcha, (2019) explica que la polimerización de lípidos en alimentos es un proceso químico en el cual los lípidos se combinan para formar compuestos de alto peso molecular conocidos como polímeros. Aunque los lípidos son generalmente asociados con moléculas pequeñas como ácidos grasos y glicerol, en ciertas condiciones experimentan reacciones de polimerización que resultan en la formación de estructuras más complejas y grandes. Este proceso de polimerización ocurre durante la cocción y procesamiento de alimentos ricos en lípidos, como aceites y grasas. A temperaturas elevadas, los lípidos se someten a reacciones de polimerización debido a la formación de enlaces cruzados entre las cadenas de ácidos grasos insaturados (Quaglia et al., 1998).

La presencia de dobles enlaces en los ácidos grasos insaturados es esencial para que ocurra la polimerización, ya que estos enlaces pueden reaccionar entre sí y con otros componentes de lípidos para formar estructuras más grandes y complejas; durante la polimerización de lípidos, se generan compuestos de alto peso molecular que tienen propiedades físicas y químicas

distintas a las de los lípidos originales. Estos polímeros contribuyen a la textura, viscosidad y estabilidad de los alimentos. Sin embargo, la formación excesiva de polímeros en alimentos procesados afecta negativamente la calidad sensorial y nutricional, así como la biodisponibilidad de nutrientes.

Hidrolisis

La hidrólisis de lípidos es un proceso bioquímico en el cual las moléculas de lípidos, como triglicéridos, fosfolípidos y ésteres de ácidos grasos, se descomponen en sus componentes básicos, principalmente ácidos grasos y glicerol, mediante la acción de enzimas llamadas lipasas. Esta reacción es catalizada por la presencia de agua y las lipasas, y es esencial para la digestión y absorción de lípidos en el tracto gastrointestinal (Nieva-Echevarría et al., 2020). En el contexto de los alimentos, la hidrólisis de lípidos ocurre durante la cocción y el procesamiento, así como durante el almacenamiento prolongado. La presencia de enzimas naturales o microorganismos contribuye a la descomposición gradual de los lípidos en los alimentos, liberando ácidos grasos y glicerol. Este proceso altera las propiedades organolépticas y nutricionales de los alimentos, ya que los ácidos grasos liberados contribuyen a sabores rancios y cambios en la textura. La hidrólisis de lípidos es un proceso relevante en la producción de productos alimenticios como aceites y grasas. En la fabricación de aceites vegetales y grasas, la hidrólisis es controlada para obtener ácidos grasos libres utilizados en la industria alimentaria y química. Este proceso implica la separación de los ácidos grasos de los glicéridos mediante la hidrólisis de los enlaces esterificados en los triglicéridos (Hernández-Centeno et al., 2020).

Compuestos polares

Zamora et al. (1991) explican que los compuestos polares en lípidos son subproductos de la degradación y oxidación de los ácidos grasos presentes en alimentos y aceites de cocina durante la cocción y el almacenamiento. Estos compuestos son indicadores clave de la calidad y la seguridad de los lípidos utilizados en la industria alimentaria y en el hogar. Los compuestos polares se forman a medida que los lípidos se someten a procesos de calentamiento repetidos, como la fritura, la cocción y la reutilización de los aceites. Estos procesos

provocan la ruptura de enlaces en los ácidos grasos, dando lugar a la formación de radicales libres y compuestos reactivos. A medida que los lípidos se oxidan, se generan productos de oxidación que incluyen peróxidos y aldehídos. Estos productos son solubles en agua y tienen una carga polar, lo que los hace distintos de los lípidos no oxidados (Ju et al., 2019). La presencia de compuestos polares en alimentos y aceites es un indicador de la calidad del producto y de su vida útil restante. El contenido de compuestos polares aumenta a medida que el aceite se degrada y envejece, lo que afecta negativamente el sabor, aroma y la seguridad alimentaria. La ingestión de alimentos fritos con altos niveles de compuestos polares puede tener efectos adversos para la salud, incluidos trastornos gastrointestinales y daño a los órganos. En la industria alimentaria, se establecen límites máximos para el contenido de compuestos polares en aceites y grasas, generalmente en torno al 25%. Los métodos de análisis rápidos y fáciles se utilizan para determinar estos compuestos, lo que ayuda a garantizar la calidad de los alimentos y la seguridad del consumidor. La reutilización de aceites y la exposición prolongada al calor son prácticas que contribuyen a un aumento en los compuestos polares y, por lo tanto, deben ser controladas (Esquivel et al. 2014).

Recientemente, se ha empezado a reconocer gradualmente los efectos perjudiciales del aceite de fritura en la salud. Se informó que los aceites utilizados en la fritura profunda y las grasas oxidadas pueden tener una responsabilidad innegable en la inducción del síndrome metabólico. Por ejemplo, los aceites de fritura pueden alterar la función hepática al inhibir la tasa de crecimiento, promover el agrandamiento del hígado y atenuar las enzimas de desintoxicación relacionadas con los mecanismos de defensa contra la peroxidación lipídica in vivo.

Carotenos

Xue et al. (2023) indican que los carotenos son pigmentos naturales presentes en muchos alimentos que tienen una importancia tanto nutricional como en términos de color y apariencia de los alimentos. Sin embargo, los carotenos son sensibles a la acción del calor y el almacenamiento prolongado, lo que puede provocar su degradación y la pérdida de sus propiedades beneficiosas y generalmente involucra procesos de oxidación y reacciones

químicas. Algunas formas en que los carotenos pueden degradarse en los alimentos son: (1) *Oxidación*: Los carotenos son susceptibles a la oxidación cuando se exponen al oxígeno atmosférico, especialmente en presencia de calor. Durante la oxidación, los carotenos pierden electrones y se transforman en productos de oxidación, lo que resulta en la pérdida de su color y actividad antioxidante (Burton et al., 2021). (2) *Isomerización*: Los carotenos experimentan isomerización térmica, donde cambia la estructura molecular debido al calor y conlleva a la formación de diferentes isómeros de carotenos con propiedades de color y actividad antioxidante alteradas. (3) *Ruptura de enlaces*: Las temperaturas elevadas causan la ruptura de enlaces en las moléculas de carotenos, lo que resulta en la formación de fragmentos más pequeños y menos pigmentados. (4) *Interacciones con otros componentes*: Los carotenos pueden interactuar con otros componentes presentes en los alimentos, como proteínas y compuestos fenólicos, cuando se someten a altas temperaturas o se almacenan durante mucho tiempo. Estas interacciones pueden acelerar su degradación. (5) *Fotooxidación*: La exposición a la luz acelera la degradación de los carotenos en los alimentos. La luz ultravioleta induce reacciones químicas que descomponen los carotenos y reducen su concentración.

Para Li et al. (2019) los pigmentos solubles en lípidos desempeñan un papel importante en varios productos alimenticios. El color es un factor esencial en la evaluación sensorial de los alimentos y tiene un gran impacto en el valor comercial y la aceptación por parte del consumidor. En cuanto al color verde, los pigmentos solubles en lípidos, principalmente la clorofila a (Chl-a), la clorofila b (Chl-b), la luteína y el β -caroteno, desempeñan un papel fundamental. Sin embargo, en el proceso de producción de algunos productos como el té, estos pigmentos son inestables en ambientes de luz, oxígeno y calor, lo que conduce a la formación de algunos derivados de pigmentos, como la feofitina a (Phe-a) y la feofitina b (Phe-b). Estos derivados de pigmentos pueden tener un impacto negativo en el color.

Vitaminas

Las vitaminas son compuestos esenciales para el funcionamiento adecuado del cuerpo humano, y juegan un papel crucial en una variedad de funciones biológicas. Sin embargo,

las vitaminas son susceptibles a la degradación debido a factores como la luz, el calor, el oxígeno y el almacenamiento prolongado. La degradación de las vitaminas puede resultar en la pérdida de sus propiedades nutricionales y su capacidad para cumplir sus funciones en el organismo (Rho & Kim, 2022). Las vitaminas son micronutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo del cuerpo humano, se pueden clasificar en vitaminas solubles en agua y vitaminas solubles en grasa. Las vitaminas solubles en agua se consumen en la dieta pero los excesos se excretan del cuerpo. Las vitaminas solubles en grasa se almacenan en el cuerpo en tejidos grasos y el hígado.

Stevens (2021) indica que las vitaminas solubles en grasa incluyen las vitaminas A, D, E y K, y cada una de estas vitaminas se divide aún más en otros grupos según su estructura molecular. La vitamina A se clasifica en dos formas: los retinoides, que incluyen el retinol, el retinal y los ésteres de retinilo; y los carotenoides, como el betacaroteno, que son fuentes vegetales convertidas en vitamina A. La vitamina E se clasifica en tocoferoles, que contienen cuatro subgrupos, y toco-trienoles, que también consisten en cuatro subgrupos. La vitamina K se divide en filoquinonas y menaquinonas. Finalmente, la vitamina D se clasifica en vitamina D2 ergosterol y vitamina D3 colecalciferol. Para Youness et al., (2022) existen procesos complejos relacionados con la absorción y el metabolismo de cada una de las vitaminas solubles en grasa una vez que ingresan al cuerpo. Estas vitaminas se absorben en los intestinos y requieren una serie de procesos metabólicos y la presencia de grasa. Cada una de las vitaminas solubles en grasa tiene estructuras únicas y debe ser transportada a la circulación con proteínas transportadoras o lipoproteínas. Luego, las vitaminas se transportan al hígado u otros tejidos adiposos para su uso y almacenamiento. Las deficiencias de las vitaminas solubles en grasa pueden afectar a muchos sistemas en el cuerpo, especialmente al sistema inmunológico. Estas vitaminas desempeñan roles importantes en el sistema inmunológico y las deficiencias pueden tener un impacto en la salud general y el bienestar. En la tabla 2 se detallan los factores que influyen en la degradación de Las vitaminas.

Tabla 2*Factores que influyen en la degradación de las vitaminas*

| Tipo de vitamina | Factores que influyen en la degradación |
|-------------------------------------|---|
| Vitamina C (ácido ascórbico) | La vitamina C es muy sensible al calor, la exposición al oxígeno y la luz. La cocción, el almacenamiento prolongado y exposición a la luz pueden causar la degradación de la vitamina C, lo que resulta en una pérdida de su actividad antioxidante y capacidad para participar en reacciones bioquímicas. Las frutas y verduras frescas son buenas fuentes de vitamina C, pero el contenido puede disminuir durante el almacenamiento y la preparación de alimentos. |
| Vitamina B1 (tiamina) | La tiamina es vulnerable a la degradación en condiciones ácidas o alcalinas, así como al calor durante la cocción. La cocción prolongada y el procesamiento térmico pueden reducir significativamente el contenido de tiamina en los alimentos. El almacenamiento inadecuado y la exposición al oxígeno también pueden afectar su estabilidad. |
| Vitamina B2 (riboflavina) | La riboflavina es sensible a la luz y puede degradarse cuando se expone a la luz ultravioleta. También puede perderse durante la cocción y el procesamiento de alimentos, especialmente en productos lácteos debido a su sensibilidad a la luz artificial. |
| Vitamina B3 (niacina) | La niacina puede ser susceptible a la degradación térmica durante la cocción, especialmente si se encuentra en forma de ácido nicotínico. Sin embargo, la niacina en forma de niacinamida es más estable en condiciones de calor. |
| Vitamina B6 (piridoxina) | La piridoxina es sensible al calor y la cocción prolongada puede causar su degradación. Sin embargo, las pérdidas de piridoxina durante la cocción suelen ser moderadas. |
| Vitamina B9 (ácido fólico) | El ácido fólico es sensible al calor, la luz y el oxígeno. La cocción prolongada y el almacenamiento inadecuado pueden provocar la degradación. Además, el procesamiento de alimentos puede reducir el contenido de ácido fólico en los alimentos. |
| Vitamina B12 (cobalamina) | La vitamina B12 es relativamente estable al calor y a la cocción, pero puede degradarse en condiciones alcalinas o durante el almacenamiento prolongado en presencia de luz y oxígeno. |
| Vitamina A (retinol y carotenoides) | La vitamina A es sensible a la oxidación, especialmente en forma de retinol. Los carotenoides, precursores de la vitamina A, son susceptibles a la degradación por calor y oxidación. La cocción y el procesamiento de alimentos pueden afectar el contenido de vitamina A y carotenoides en los alimentos. |

Fuente: Rho & Kim, 2022

Antioxidantes

Los antioxidantes desempeñan un papel fundamental en la modulación de los cambios químicos de los lípidos durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos. Estos compuestos tienen la capacidad de contrarrestar y prevenir la oxidación lipídica, un proceso que puede resultar en la formación de radicales libres y la degradación de los lípidos insaturados y poliinsaturados, que resulta en la formación de compuestos dañinos y productos de degradación que afectan negativamente la calidad de los alimentos y la salud (Costa et al., 2021). Los antioxidantes actúan neutralizando los radicales libres y evitando que desencadenen reacciones en cadena de oxidación. Pueden dividirse en dos categorías principales: antioxidantes endógenos, que son producidos por el propio organismo, y antioxidantes exógenos, que se obtienen a través de la dieta. Entre los antioxidantes endógenos se encuentran enzimas como la superóxido dismutasa y la catalasa, que trabajan en conjunto para neutralizar los radicales libres y minimizar el daño oxidativo. Por otro lado, los antioxidantes exógenos incluyen compuestos como las vitaminas C y E, los carotenoides y los polifenoles, que se encuentran en una variedad de alimentos vegetales. Por su parte, los antioxidantes exógenos pueden interactuar con los radicales libres y las especies reactivas de oxígeno, inhibiendo así la cadena de reacciones de oxidación y previniendo la formación de compuestos perjudiciales. Además, pueden regenerar otros antioxidantes en el proceso, como la vitamina E, y contribuir a la estabilidad de los lípidos en los alimentos. Sin embargo, es importante destacar que la eficacia de los antioxidantes puede variar según factores como su concentración, la matriz alimentaria y las condiciones de procesamiento y almacenamiento (Abeyrathne et al., 2021).

Dado que los lípidos desempeñan un papel crucial en la calidad de los alimentos, los cambios en los lípidos se consideran uno de los principales parámetros en los análisis de vida útil; ya que la mayoría de los productos alimenticios se determina principalmente por el nivel de oxidación, especialmente en alimentos con alto contenido de lípidos y ácidos grasos poliinsaturados. La formación de sabores rancios es uno de los principales compuestos no deseados generados por la oxidación de lípidos en la carne cruda y reduce las cualidades sensoriales de los

productos finales. Los sabores de sobrecalentamiento son productos secundarios de la oxidación de lípidos que se desarrollan en la carne cocida oxidada, y los aldehídos, como el hexanal, el pentanal, el pentanol y los compuestos noanal, son responsables de los sabores desagradables (Lungu et al., 2020; Wazir et al., 2019).

Algunos productos de oxidación de lípidos, como el malondialdehído, la acroleína, el 4-hidroxi-trans-nonenal, el 4-hidroxi-trans-hexanal y compuestos similares al crotonaldehído, generan no solo sabores desagradables, sino que también pueden causar enfermedades como la inflamación, el envejecimiento, el cáncer y la aterosclerosis en los seres humanos. Además, pueden interferir con las vías de señalización, lo que conduce a daños biomoleculares significativos (Huang & Ahn, 2019; Tikk et al., 2008). Los hidroperóxidos, los carbonilos, los aldehídos, los alcoholes, los furanos, los ceto-colesteroles, los epoxy-colesteroles y los oxico-esteroides son biomarcadores producidos a partir de la hidrólisis enzimática y no enzimática de los lípidos y se utilizan directamente para detectar las condiciones fisiológicas y patológicas de los animales. Se han desarrollado varios métodos, como el uso de antioxidantes, el envasado al vacío y el envasado atmosférico modificado, para controlar la oxidación de lípidos en productos alimenticios (Domínguez et al., 2019).

Los antioxidantes son compuestos que se consideran como un grupo capaz de contrarrestar la oxidación al actuar como agentes reductores, cazadores de radicales libres, neutralizadores de especies radicales o inactivadores de prooxidantes, como los metales. Las plantas contienen muchos compuestos antioxidantes naturales, que incluyen polifenoles (antocianinas, flavonoles, flavonas), carotenoides, taninos, lignina, ácidos fenólicos y vitaminas. Sin embargo, estos antioxidantes pueden perder su actividad en condiciones adversas, como altas temperaturas, pH extremo y fuertes luces (Loi & Paciolla, 2021). La capacidad antioxidante de ciertos compuestos se puede medir de manera directa o indirecta. El método directo determina la capacidad de los antioxidantes para intervenir o detener el proceso de oxidación de lípidos en homogeneizados de carne, productos cárnicos, emulsiones de aceite y sistemas de liposomas en presencia de

compuestos antioxidantes (Maqsood & Benjakul, 2010).

Conclusiones

Los cambios químicos y bioquímicos en los lípidos durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos son fenómenos complejos que tienen un impacto significativo en la calidad, seguridad y valor nutricional de los productos alimenticios. La oxidación lipídica emerge como una de las principales transformaciones, resultando en la formación de compuestos volátiles, ácidos grasos libres y productos de degradación que afectan negativamente las propiedades sensoriales y la estabilidad de los alimentos.

Los antioxidantes juegan un papel crucial en la mitigación de los cambios químicos adversos en los lípidos. Su capacidad para neutralizar los radicales libres y prevenir la cadena de reacciones de oxidación contribuye a preservar la calidad y estabilidad de los alimentos. Sin embargo, la eficacia de los antioxidantes puede variar según las condiciones de procesamiento, almacenamiento y la matriz alimentaria.

Referencias

- Abeyrathne, E. D. N. S., Nam, K., & Ahn, D. U. (2021). Analytical methods for lipid oxidation and antioxidant capacity in food systems. *Antioxidants*, 10, 10, 1587. <https://doi.org/10.3390/antiox10101587>
- Ahmed, M., Pickova, J., Ahmad, T., Liaquat, M., Farid, A., & Jahangir, M. (2016). Oxidation of Lipids in Foods. *Sarhad Journal of Agriculture*, 32(3), 230–238. <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2016.32.3.230.238>
- Esquivel, A., Castañeda, A., & Ramírez, J., & (2014). Cambios químicos de los aceites comestibles durante el proceso de fritura. Riesgos en la salud. *Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías Del ICBI*, 2(3). <https://doi.org/10.29057/icbi.v2i3.526>
- Barden, L., & Decker, E. A. (2016). Lipid oxidation in low-moisture food: A review. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(15), 2467–2482. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.848833>
- Böttcher, S., Steinhäuser, U., & Drusch, S. (2015). Off-flavour masking of secondary lipid oxidation products by pea dextrin. *Food Chemistry*, 169, 492–498. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.05.006>
- Burton, G. W., Mogg, T. J., Riley, W. W., & Nickerson, J. G. (2021). β -Carotene oxidation products - Function and safety. *Food and Chemical Toxicology*, 152. 1 1 2 2 0 7. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112207>
- Costa, M., Losada-Barreiro, S., Paiva-Martins, F., & Bravo-Díaz, C. (2021). Polyphenolic antioxidants in lipid emulsions: Partitioning effects and interfacial phenomena. *Foods*. 1 0 (3) . <https://doi.org/10.3390/foods10030539>
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2019). A comprehensive review on lipid oxidation in meat and meat products. In *Antioxidants*, 8 (1 0) . <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>
- Fahy, E., Subramaniam, S., Brown, H. A., Glass, C. K., Merrill, A. H., Murphy, R. C., Raetz, C. R. H., Russell, D. W., Seyama, Y., Shaw, W., Shimizu, T., Spener, F., Van Meer, G., VanNieuwenhze, M. S., White, S. H., Witztum, J. L., & Dennis, E. A. (2005). A comprehensive classification system for lipids. *Journal of Lipid Research*, 46(5), 8 3 9 – 8 6 1 . <https://doi.org/10.1194/jlr.E400004-JLR200>
- Hernández-Centeno, F., Hernández-González, M., López-De la Peña, H. Y., López-Trujillo, R., Zamudio-Flores, P. B., Ochoa-Reyes, E., Tirado-Gallegos, J. M., & Martínez-Vázquez, D. G. (2020). Changes in oxidative stability, composition and physical characteristics of oil from a non-conventional source before and after processing. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 19(3), 1389–1400. <https://doi.org/10.24275/rmiq/Alim937>
- Huang, X., & Ahn, D. U. (2019). Lipid oxidation and its implications to meat quality and human health. In *Food Science and Biotechnology*, 28(5), 1275–1285. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00631-7>
- Jackson, V., & Penumetcha, M. (2019). Dietary oxidised lipids, health consequences and

- novel food technologies that thwart food lipid oxidation: an update. In *International Journal of Food Science and Technology*, 54(6), 1981–1988. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14058>
- Ju, J., Zheng, Z., Xu, Y. J., Cao, P., Li, J., Li, Q., & Liu, Y. (2019). Influence of total polar compounds on lipid metabolism, oxidative stress and cytotoxicity in HepG2 cells. *Lipids in Health and Disease*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12944-019-0980-0>
- Juárez, N. S. & Samman, N. (2007). El deterioro de los aceites durante la fritura. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 13(2), 82–94. <https://www.renc.es/imagenes/auxiliar/files/0032007.pdf>
- Kubow, S. (1992). Routes of formation and toxic consequences of lipid oxidation products in foods. *Free Radical Biology & Medicine*, 12(1), 63–81. [https://doi.org/10.1016/0891-5849\(92\)90059-P](https://doi.org/10.1016/0891-5849(92)90059-P)
- Lee, J., Koo, N., & Min, D. B. (2004). Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 3(1), 21–33.
- Lee, R. (2003). Photo-oxidation and Photo-toxicity of Crude and Refined Oils. *Spill Science and Technology Bulletin*, 8(2), 157–162. [https://doi.org/10.1016/S1353-2561\(03\)00015-X](https://doi.org/10.1016/S1353-2561(03)00015-X)
- Li, X., Jin, J., Sun, C., Ye, D., & Liu, Y. (2019). Simultaneous determination of six main types of lipid-soluble pigments in green tea by visible and near-infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 270, 236–242. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.039>
- Loi, M., & Paciolla, C. (2021). Plant antioxidants for food safety and quality: Exploring new trends of research. In *Antioxidants*, 10(6), 972. <https://doi.org/10.3390/antiox10060972>
- Lungu, N. S., Afolayan, A. J., Thomas, R. S., & Idamokoro, E. M. (2020). Consumer exposure to warmed-over flavour and their attitudes towards the use of natural antioxidants as preservatives in meat and meat products. *British Food Journal*, 122(9), 2927–2937. <https://doi.org/10.1108/BFJ-11-2019-0837>
- Maqsood, S., & Benjakul, S. (2010). Comparative studies of four different phenolic compounds on in vitro antioxidative activity and the preventive effect on lipid oxidation of fish oil emulsion and fish mince. *Food Chemistry*, 119(1), 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.06.004>
- Min, D. B., & Boff, J. M. (2002). Chemistry and Reaction of Singlet Oxygen in Foods Materials and Methods Discoveries of oxygen and its properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1(2), 58–72. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2002.tb00007.x>
- Nawar, W. W. (1984). Chemical Changes in Lipids Produced by Thermal Processing. *Journal of Chemical Education*, 61(4), 299–302.
- Nieva-Echevarría, B., Goicoechea, E., & Guillén, M. D. (2020). Food lipid oxidation under gastrointestinal digestion conditions: A review. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(3), 461–478).
- Quaglia, G., Comendador, J., & Finotti, E. (1998). *Optimization of frying process in food safety*, 49).
- Rho, S. J., & Kim, Y. R. (2022). Improving solubility and stability of fat-soluble vitamins (A, D, E, and K) using large-ring cycloamylose. *LWT*, 153, 112502. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112502>
- Stevens, S. L. (2021). Fat-Soluble Vitamins. In *Nursing Clinics of North America*, 56(1), 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.cnur.2020.10.003>
- Tikk, K., Haugen, J. E., Andersen, H. J., & Aaslyng, M. D. (2008). Monitoring of warmed-over flavour in pork using the electronic nose - correlation to sensory attributes and secondary lipid oxidation products. *Meat Science*, 80(4), 1254–1263. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.040>
- Tirosh, O., Shpaizer, A., & Kanner, J. (2015). Lipid Peroxidation in a Stomach Medium Is Affected by Dietary Oils (Olive/Fish

- and Antioxidants: The Mediterranean versus Western Diet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(31), 7016–7023.
- Wang, D., Xiao, H., Lyu, X., Chen, H., & Wei, F. (2023). Lipid oxidation in food science and nutritional health: A comprehensive review. *Oil Crop Science*, 8 (1) , 3 5 – 4 4 . <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2023.02.002>
- Wazir, H., Chay, S. Y., Zarei, M., Hussin, F. S., Mustapha, N. A., Ibadullah, W. Z. W., & Saari, N. (2019). Effects of storage time and temperature on lipid oxidation and protein co-oxidation of low-moisture shredded meat products. *Antioxidants*, 8 (1 0) . <https://doi.org/10.3390/antiox8100486>
- Xue, L., Yang, R., Wang, X., Ma, F., Yu, L., Zhang, L., & Li, P. (2023). Comparative advantages of chemical compositions of specific edible vegetable oils. *Oil Crop Science*, 8 (1) , 1 – 6 . <https://doi.org/10.1016/j.ocsci.2023.02.005>
- Youness, R. A., Dawoud, A., ElTahtawy, O., & Farag, M. A. (2022). Fat-soluble vitamins: updated review of their role and orchestration in human nutrition throughout life cycle with sex differences. *Nutrition and Metabolism*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12986-022-00696-y>
- Zamora, R., Hidalgo, F. J., & Alaiz, M. (1991). Alteraciones bioquímicas de los lípidos en los alimentos vegetales. I. formación de los hidroperóxidos lipídicos. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 42(2), 1 5 5 – 1 6 2 . <https://doi.org/10.3989/gya.1991.v42.i2.1265>
- Zheng, L., Fleith, M., Giuffrida, F., O'Neill, B. V., & Schneider, N. (2019). Dietary Polar Lipids and Cognitive Development: A Narrative Review. *Advances in Nutrition*, 10(6), 1163–1176. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz051>