

**Determinar la estabilidad lipídica como indicador
de la calidad y frescura de la carne de cerdo.**

**Determine lipid stability as an indicator
of pork meat quality and freshness**

Jhonnatan Geovanny Noriega-Guevara¹
Universidad Técnica de Cotopaxi
forastero_01@hotmail.es

Gabriela Beatriz Arias-Palma²
Universidad Técnica de Cotopaxi
gabriela.arias@utc.edu.ec

Linda Mariuxi Flores-Fiallos³
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Linda.flores@esPOCH.edu.ec

doi.org/10.33386/593dp.2025.3.3155

V10-N3 (may-jun) 2025, pp 568-580 | Recibido: 09 de marzo del 2025 - Aceptado: 09 de abril del 2025 (2 ronda rev.)

1 ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3927-7018>. Estudiante de la maestría en Agroindustria de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2648-7999>. Docente ocasional tiempo completo de la carrera de Agroindustria en la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2782-6470>. Docente Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Descargar para Mendeley y Zotero

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la estabilidad lipídica como indicador de la calidad y frescura de la carne de cerdo, evaluando los efectos de diferentes condiciones y tiempos de almacenamiento. Se utilizó un diseño experimental factorial completamente al azar con dos factores: condiciones de almacenamiento (4°C y -18°C) y tiempos de almacenamiento (0, 7, 14, 21 y 28 días), aplicando técnicas analíticas para medir los índices de rancidez y la carga microbiana en muestras obtenidas del mercado San Alfonso en Riobamba. Los análisis del Índice de Peróxidos (IP) indicaron que no se observaron cambios significativos en la oxidación lipídica en las muestras almacenadas a -18°C y 4°C durante los primeros 21 días, manteniéndose por debajo de 0,3 mEq O₂/kg. Sin embargo, el análisis de TBARS mostró que la carne refrigerada experimentó un aumento del 79,92% en rancidez oxidativa en 21 días, mientras que la carne congelada solo tuvo un incremento del 12,58%. Los análisis microbiológicos revelaron un aumento del 215% en la carga microbiana en la carne refrigerada, sin detectar *E. coli* ni *Salmonella* spp. en ninguna muestra. Se concluye que la congelación a -18°C es la mejor estrategia para preservar la calidad lipídica y reducir el crecimiento microbiano, mientras que la refrigeración a 4°C debe limitarse a menos de dos semanas para evitar un deterioro acelerado. Además, se recomienda el uso de envasado al vacío y conservantes antioxidantes para prolongar la vida útil y mantener la calidad sensorial del producto.

Palabras claves: Estabilidad lipídica; calidad de la carne de cerdo; rancidez oxidativa; carga microbiana; condiciones de almacenamiento.

ABSTRACT

The present study aimed to determine lipid stability as an indicator of pork quality and freshness, evaluating the effects of different storage conditions and times. A completely randomized factorial experimental design was used with two factors: storage conditions (4°C and -18°C) and storage times (0, 7, 14, 21 and 28 days), applying analytical techniques to measure rancidity indices and microbial load in samples obtained from the San Alfonso market in Riobamba. Peroxide Index (PI) analyses indicated that no significant changes were observed in lipid oxidation in samples stored at -18°C and 4°C during the first 21 days, remaining below 0.3 mEq O₂/kg. However, TBARS analysis showed that chilled meat experienced a 79.92% increase in oxidative rancidity within 21 days, while frozen meat only had a 12.58% increase. Microbiological analyses revealed a 215% increase in microbial load in chilled meat, with no *E. coli* or *Salmonella* spp. detected in any sample. It is concluded that freezing at -18°C is the best strategy to preserve lipid quality and reduce microbial growth, while refrigeration at 4°C should be limited to less than two weeks to avoid accelerated deterioration. In addition, the use of vacuum packaging and antioxidant preservatives is recommended to prolong shelf life and maintain the sensory quality of the product.

Keywords: Lipid stability; pork meat quality; oxidative rancidity; microbial load; storage conditions.

Introducción

La oxidación de lípidos ha sido reconocida como una de las principales causas del deterioro de la calidad de la carne. El tejido muscular es altamente susceptible a la oxidación porque contiene niveles más altos de fosfolípidos, incluyendo una mayor cantidad de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) (Tatíyabor et al., 2022). La oxidación de lípidos es iniciada por radicales libres o enzimas a través de una reacción en cadena de radicales para producir radicales alquilo, que son químicamente inestables. Estos radicales alquilo se oxidan aún más para formar intermediarios de lípido-hidróxido ($\bullet\text{OOH}$), que sufren reacciones de propagación y terminación para generar hidroperóxidos y aldehídos (Ko et al., 2020).

El grado de oxidación de lípidos es influenciado por factores endógenos (heme, hierro no heme y enzimas tisulares) y factores exógenos (temperatura y tiempo de almacenamiento); convencionalmente, el grado de daño oxidativo se evalúa utilizando productos oxidativos primarios (por ejemplo, hidroperóxido) y secundarios (por ejemplo, especies reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARs) y aldehídos) (Feng et al., 2022).

Por ejemplo, Coombs et al. (2019), estudiaron la influencia del tiempo de congelación en los perfiles de ácidos grasos esterificados (FAs) y la oxidación de lípidos en cordero y los resultados mostraron que los TBARs aumentaron con el tiempo de almacenamiento congelado, sugiriendo un aumento en la oxidación de lípidos. En este contexto, la determinación de la estabilidad lipídica en la carne de cerdo es crucial para garantizar la calidad y frescura del producto, con lo cual se espera identificar los factores que afectan la oxidación de los lípidos, lo cual proporcionará información valiosa para mejorar las prácticas de almacenamiento y manipulación de la carne. Al comprender mejor los mecanismos y las condiciones que aceleran la rancidez, se pueden desarrollar estrategias efectivas para minimizar el deterioro, prolongar la vida útil y mantener las propiedades sensoriales y nutricionales del producto. Además,

este conocimiento es fundamental para asegurar la inocuidad alimentaria y proteger la salud del consumidor, ya que la oxidación de lípidos puede dar lugar a la formación de compuestos tóxicos.

Con base en esta información, se ha propuesto el siguiente objetivo general, determinar la incidencia y estabilidad lipídica como indicador de la calidad y frescura de la carne de cerdo. El cual está integrado por los siguientes objetivos específicos: Identificación de los índices de rancidez en muestras de carne de cerdo cruda, evaluación de la influencia del tiempo de almacenamiento en la estabilidad lipídica y determinación de factores de riesgo asociados a la rancidez lipídica en carne de cerdo cruda.

Marco teórico

Carne de cerdo

La carne y los productos cárnicos son buenas fuentes de proteínas con alto valor biológico, vitaminas liposolubles, minerales y compuestos bioactivos. La carne de cerdo es la carne más consumida en el mundo, seguida por la carne de ave, res, cordero y cabra, los productos cárnicos resultan de diversos métodos de procesamiento de la carne fresca, con el objetivo de desarrollar productos deseables y reducir la perecibilidad durante el transporte y almacenamiento (Muzolf et al., 2019).

La carne es especialmente propensa a los procesos de oxidación debido a sus estructuras y composición compleja, incluidos los lípidos, ácidos grasos insaturados y los sistemas de miofibrillas. Los lípidos de la carne son químicamente inestables y fáciles de oxidar, especialmente durante la manipulación, la cocción y el almacenamiento post mortem. Los cambios asociados a la oxidación de los lípidos incluyen el olor rancio, la decoloración, la pérdida del valor nutricional, la disminución de la vida útil y la formación de compuestos tóxicos, que pueden ser perjudiciales para la salud de los consumidores (Graciano et al., 2022).

Oxidación de lípidos y sus mecanismos

La oxidación de lípidos es una de las principales causas del deterioro de los tejidos grasos en las carnes y es un proceso espontáneo e inevitable que afecta directamente el valor comercial de la carne y los productos. Los lípidos son uno de los componentes alimentarios químicamente más inestables que participan en reacciones oxidativas, inducidos por varios factores a través de mecanismos bastante complejos (Ramírez et al., 2019).

Los principales factores conocidos que intervienen en estas reacciones incluyen el tipo de estructura lipídica y su entorno, el grado de insaturación en los ácidos grasos, la exposición a la luz y el calor, y la presencia de oxígeno molecular, componentes prooxidantes y antioxidantes son factores que afectan la estabilidad oxidativa de los lípidos (Wang et al., 2023).

La velocidad de la reacción de oxidación depende de muchos factores, como la proporción de ácidos grasos insaturados a saturados, que está estrictamente correlacionada con el tipo de tejido y la raza, las condiciones de almacenamiento (tiempo y temperatura) y/o los procedimientos tecnológicos a los que se somete la carne (picado, cocción, asado, etc.). Los componentes naturales presentes en el tejido muscular, como el hierro, la mioglobina (Mb), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y el ácido ascórbico, pueden causar la oxidación de lípidos, actuando como catalizadores o promoviendo la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Ahmad et al., 2023).

Por otro lado, la oxidación enzimática es catalizada por la lipoxigenasa, enzimas que oxidan ácidos grasos, lo que lleva a la adición de oxígeno a la cadena hidrocarbonada. El resultado es la formación de peróxidos e hidroperóxidos con dobles enlaces conjugados, que pueden sufrir diferentes reacciones degenerativas, formando varios productos (Zhou et al., 2023).

Durante la oxidación de lípidos, la etapa de iniciación comienza con la extracción de un átomo de hidrógeno de un ácido graso insaturado, formando un radical alquilo. Este radical reacciona

con oxígeno molecular, generando radicales peróxido que, en la etapa de propagación, pueden extraer hidrógenos de moléculas adyacentes, formando hidroperóxidos y nuevos radicales. Este ciclo puede repetirse numerosas veces antes de que los radicales se combinen y finalicen el proceso. Los hidroperóxidos formados pueden descomponerse en productos secundarios de bajo peso molecular, como aldehídos (incluyendo hexanal y malondialdehído), que contribuyen al deterioro de la carne (Amaral et al., 2018).

La oxidación de lípidos afecta significativamente la calidad de la carne al producir cambios en el olor, color, sabor y textura, además de influir negativamente en las propiedades funcionales como la solubilidad de proteínas y la capacidad de retención de agua, lo que disminuye la biodisponibilidad de algunos nutrientes. En la carne cruda, la oxidación genera sabores rancios y olores desagradables que se intensifican tras la cocción, debido a la formación de compuestos como aldehídos y cetonas. Además, la oxidación de lípidos provoca decoloración de la carne por la oxidación de pigmentos hemo, y reduce la solubilidad de proteínas y la capacidad de retención de agua, lo que puede resultar en carne más seca y menos atractiva para los consumidores (Ahmad et al., 2023).

Principales factores que influyen en la oxidación de lípidos

Los principales factores que influyen en la oxidación de lípidos en la carne son el contenido de grasa y la composición de ácidos grasos, ya que los ácidos grasos son el sustrato de los procesos de oxidación. En la carne, los lípidos se organizan en triglicéridos y fosfolípidos, con una baja contribución de otros tipos de lípidos como ácidos grasos libres, colesterol o vitaminas. La cantidad de grasa intramuscular está directamente relacionada con la cantidad de triglicéridos, mientras que los fosfolípidos permanecen constantes. Aunque los triglicéridos representan la mayor parte de los lípidos en la carne, los fosfolípidos son esenciales en el desarrollo de la oxidación de lípidos debido a su alta reactividad y su mayor contenido de ácidos

grasos poliinsaturados en comparación con los triglicéridos (Domínguez et al., 2019).

La rancidez oxidativa es un proceso químico complejo que se desarrolla en tres fases: iniciación, propagación y terminación. Este proceso afecta significativamente el sabor, la calidad nutricional y la seguridad del producto alimenticio, preocupaciones fundamentales para los fabricantes de alimentos. La oxidación provoca un sabor rancio, así como cambios en el color y la textura, lo que disminuye la palatabilidad y, por ende, la aceptación del alimento por parte de la mascota. Durante este proceso, las vitaminas, grasas y proteínas pierden su valor nutricional, y las moléculas nocivas que se forman pueden dañar las células intestinales y las bacterias beneficiosas (Innovad, 2020).

Rancidez oxidativa

El malondialdehído o MDA (1,3-propanodial) es uno de los aldehídos más importantes producidos durante la oxidación secundaria de ácidos grasos poliinsaturados. Este aldehído tiene gran relevancia en la carne, ya que, en bajas cantidades, produce aromas rancios y se considera el principal marcador de la oxidación de lípidos.

La prueba del ácido tiobarbitúrico (TBA) es la técnica principal para cuantificar MDA y consiste en una medición colorimétrica de un complejo formado entre TBA y MDA. Sin embargo, aunque el MDA es la sustancia reactiva principal con TBA, se sabe que la reacción con TBA no es específica para MDA, ya que también reaccionan múltiples aldehídos y otros productos de oxidación. Por lo tanto, el método se denomina sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARs) para abarcar todas las sustancias que reaccionan con el TBA (Catalán & Gómez, 2018).

Control de calidad

En control de calidad, se emplean herramientas físicas, químicas, tecnológicas, sensoriales, microbiológicas y nutricionales para garantizar niveles óptimos en aspectos

como salubridad, higiene, sabor, nutrientes y otros parámetros esenciales de inocuidad. Estas herramientas supervisan y aseguran la calidad del producto, protegiendo así la salud del consumidor (Equipo de Expertos en Ciencias de la Salud, 2021).

Método

Área de Estudio

Se realizó en la ciudad de Riobamba, la cual tiene una superficie de 5,637 km², una elevación de 2.754 m.s.n.m, una población de 225.741 habitantes y presenta un clima templado andino. La recolección de muestras se realizó dentro de la zona urbana de la ciudad de Riobamba en el mercado “San Alfonso”.

Fase de campo y recolección de muestras

Se realizó la recolección de muestras siguiendo los lineamientos de acuerdo con la NTE INEN 776 (2016) y la normativa INEN 1529-2 (2016) de análisis microbiológico. Las muestras fueron recolectadas en el mercado “San Alfonso” local# 08, el animal porcino fue sacrificado 2 días antes de llegar al mercado, y puesto en cámara de frío entre -2 y 0°C a las 11:15am. Al llegar al mercado se adquirió una cantidad de 12 libras, y se pudo observar la madurez, frescura y color de la carne, además de las medidas de bioseguridad adecuadas, posteriormente se colocaron en un cooler manteniendo la temperatura de 0 – 5°C y finalmente llevados al laboratorio de manera inmediata para los respectivos análisis (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2016).

Fase de laboratorio

Para la fase de laboratorio se tomó en cuenta los índices de rancidez NTE INEN 776:2016 y INEN 1529-2:2016 para los análisis microbiológicos. Se utilizó los equipos y laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) para realizar el índice de peróxidos primero preparando la balanza analítica para el pesaje de muestras, seguidamente se preparan los reactivos para realizar el índice de peróxidos matraces Erlenmeyer y pipetas.

Diseño experimental

El estudio fue conducido en un diseño experimental factorial completamente al azar con los siguientes factores y niveles (Ver Tabla 1):

Factor 1: Condiciones de Almacenamiento: Niveles: Refrigeración (4°C), Congelación (-18°C)

Factor 2: Tiempo de Almacenamiento: Niveles: 0, 7, 14, 21, 28 días

Cada combinación de estos factores se repitió con 3 réplicas.

Tabla 1.
Tratamientos propuestos

Tratamiento	Condición de Almacenamiento	Tiempo de Almacenamiento
T1	Refrigeración (4°C)	0 días
T2	Refrigeración (4°C)	7 días
T3	Refrigeración (4°C)	14 días
T4	Refrigeración (4°C)	21 días
T5	Refrigeración (4°C)	28 días
T6	Congelación (-18°C)	0 días
T7	Congelación (-18°C)	7 días
T8	Congelación (-18°C)	14 días
T9	Congelación (-18°C)	21 días
T10	Congelación (-18°C)	28 días

Procedimientos experimentales

Objetivo 1: Identificación de los índices de rancidez en muestras de carne de cerdo cruda

Preparación de muestras:

Las muestras de carne se cortan en trozos pequeños y se homogenizan.

Se pesan 10 g de la muestra homogenizada y se colocan en un matraz Erlenmeyer.

Análisis del Índice de Peróxidos (IP):

Se añade 50 mL de una mezcla de cloroformo y ácido acético (3:2) a la muestra.

Se agita durante 30 minutos y luego se filtra.

Se toman 5 mL del filtrado y se mezclan con 5 mL de solución de yoduro de potasio saturado.

Después de 1 minuto, se añaden 10 mL de agua destilada y se titula con tiosulfato de sodio 0.01 N hasta que desaparezca el color amarillo.

Análisis de Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS):

Se mezclan 2 g de muestra con 50 mL de solución de TCA al 7.5% en un matraz.

La mezcla se centrifuga a 4000 rpm durante 10 minutos.

Se toma 5 mL del sobrenadante y se mezclan con 5 mL de solución de TBA al 0.02 M.

La mezcla se calienta en baño de agua a 100°C durante 35 minutos.

Se enfría a temperatura ambiente y se mide la absorbancia a 532 nm.

Objetivo 2: Evaluación de la influencia del tiempo de almacenamiento en la estabilidad lipídica

Almacenamiento de muestras:

Las muestras se dividen en porciones de 100 g y se almacenan en bolsas de polietileno.

Se almacenan en refrigeración (4°C) y congelación (-18°C).

Evaluación periódica:

Se toman muestras en intervalos de 0, 7, 14, 21 y 28 días.

En cada intervalo, se realizan análisis de índices de rancidez (IP y TBARS) según los métodos descritos anteriormente.

Objetivo 3: Evaluación de la carga microbiana en muestras de carne de cerdo cruda

Análisis microbiológico:

Se realizan diluciones seriadas de la muestra homogenizada.

Se siembran 1 ml de las diluciones apropiadas en placas de agar nutritivo.

Las placas se incuban a 37°C durante 24-48 horas.

Recuento de colonias:

Se cuenta el número de colonias presentes en las placas incubadas.

Se calcula el recuento de UFC por gramo de muestra.

Evaluación periódica:

Se toman muestras en intervalos de 0, 7, 14, 21 y 28 días.

En cada intervalo, se realizan los análisis microbiológicos descritos.

Análisis de datos

El análisis de datos incluirá un análisis descriptivo para obtener una visión general de los índices de rancidez y la carga microbiana en las muestras de carne de cerdo cruda, calculando medias y desviaciones estándar para cada variable. Posteriormente, se aplicará un análisis de varianza (ANOVA) para identificar diferencias significativas entre los tratamientos, seguido de pruebas post-hoc, como la prueba de Tukey, para determinar qué combinaciones específicas de tiempo y condiciones de almacenamiento son responsables de dichas diferencias.

Finalmente, se realizará un análisis correlacional para relacionar los factores de riesgo identificados en las encuestas con los índices de rancidez, con el fin de identificar los factores críticos que afectan la estabilidad lipídica y la calidad de la carne durante el almacenamiento.

Resultados

Identificación de los índices de rancidez en muestras de carne de cerdo cruda

La evaluación de la estabilidad de los lípidos en la carne de cerdo cruda es esencial para determinar la calidad del producto y su durabilidad en distintas situaciones de almacenamiento. En esta investigación se evaluó el Índice de Peróxidos (IP), durante un periodo de 21 días en carne conservada a 4°C y -18°C, realizando controles periódicos. El índice de peróxidos es un indicador fundamental en el proceso de oxidación de lípidos ya que señala la existencia de hidroperóxidos que son los productos iniciales de la oxidación lipídica. En la Tabla 2, se presentan los resultados de los índices de peróxidos en muestras de carne de cerdo cruda:

Tabla 2.

Índices de peróxidos en muestras de carne de cerdo cruda

Parámetro	Temp.	Unidad	Inicial (29-11-2024)	1er Control (10-12-2024)	2do Control (13-12-2024)	3er Control (20-12-2024)
Índice de Peróxidos	-18°C	mEq O ₂ /kg	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
	4°C	mEq O ₂ /kg	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3

Los resultados obtenidos en los distintos lapsos de almacenamiento revelan una consistencia en el nivel de peróxidos (< 0,3 mEq O₂/kg), tanto en las muestras refrigeradas a 4°C como en las muestras congeladas a -18°C. Estos hallazgos sugieren que no se observaron signos significativos de oxidación lipídica en ninguna de las etapas de muestreo. Sin embargo, se preveía que la carne guardada en refrigeración (4°C) experimentaría un aumento mayor en el nivel de peróxidos en comparación a la carne que estaba congelada (-18°C), ya que las temperaturas más elevadas favorecen la actividad enzimática y la autooxidación de los lípidos.

A pesar de esto, los valores del IP se mantuvieron por debajo del límite detectable (< 0,3 mEq O₂/kg) en ambas situaciones, indicando

que el proceso de almacenamiento fue efectivo para prevenir la oxidación lipídica.

Evaluación de la influencia del tiempo de almacenamiento en la estabilidad lipídica

La rancidez oxidativa en la carne de cerdo juega un papel fundamental en la determinación de su calidad y durabilidad en el tiempo. Los niveles del índice de sustancias reactantes al ácido tiobarbitúrico (TBARS) se utilizan como indicadores para evaluar la oxidación de los lípidos mediante la presencia de malondialdehído (MDA), un subproducto de la peroxidación lipídica. Valores altos de TBARS indican una mayor oxidación de los lípidos, pudiendo afectar el sabor, la textura y la seguridad del producto final. Durante esta investigación se examinó el índice de TBARS en la carne conservada a -18°C (congelación) y 4°C (refrigeración) a lo largo de un periodo de 28 días, realizando mediciones en cuatro momentos significativos; al principio (día 0), día 11, día 14 y día 21, cuyos resultados se muestran en la tabla 3:

Tabla 3.
Rancidez en muestras de carne de cerdo cruda

Parámetro	Temp.	Unidad	Inicial (29-11-2024)	1er Control (10-12-2024)	2do Control (13-12-2024)	3er Control (20-12-2024)
Rancidez	-18°C	mg aldehído mal/kg	0,125	0,127	0,129	0,143
	4°C	mEq O_2/kg	0,164	0,363	0,559	0,817

Figura 1
Resultados gráficos de la rancidez en carne de cerdo



La evolución del índice de TBARS en la carne almacenada a -18°C muestra una estabilidad a lo largo del periodo analizado en el estudio realizado. Desde el inicio de la investigación hasta el día 21 se observaron variaciones mínimas en los niveles de malondialdehído (MDA), pasando de 0,125 mg MDA/kg a 0,143 mg MDA/kg. Esta ligera oscilación da indicios de que la congelación previene eficientemente la oxidación de los lípidos al limitar la descomposición de los grasos y evitar la formación de compuestos secundarios relacionados a la oxidación. Además, la consistencia también señala que las condiciones de almacenamiento estuvieron en su mejor momento, disminuyendo la exposición al oxígeno y reduciendo la actividad enzimática que causa el deterioro del producto. La leve diferencia encontrada en los datos podría ser resultado de factores analíticos o mínimas alteraciones en la composición lipídica de la carne, aunque sin una influencia importante en su calidad.

Por otro lado, la evolución del índice de TBARS en la carne almacenada a 4°C muestra un aumento continuado y significativo en la oxidación de los lípidos. Al inicio (día 0), el valor de base de 0,164 mg MDA/kg indicaba que el producto estaba fresco; sin embargo, con el transcurso del tiempo de almacenamiento, los valores empezaron a aumentar progresivamente. Para el día 11, el índice de TBARS se elevó hasta 0,363 mg MDA/kg, lo que supuso un incremento del 60% con respecto al valor inicial. Desde el día 14 en adelante se observa que la rancidez se incrementó hasta alcanzar 0,559 mg MDA/kg; lo que implica un aumento del 257%. Para el día 21 ya se registraba un valor de 0,817 mg MDA/kg indicando un crecimiento total del 450% respecto al inicio.

Estos resultados sugieren que mantener la temperatura a 4°C no resultaría adecuado para prevenir la oxidación de los lípidos a largo plazo, destacando que empezando desde el día 14 en adelante se observa un aumento en la tasa de TBARS, indicando que la carne almacenada en frío comienza a perder su calidad sensorial y valor nutricional de manera significativa después de esta fecha. La presencia de aldehídos y otros compuestos generados por la oxidación

puede tener un impacto negativo en el sabor, aroma y textura del producto lo que reduce su aceptabilidad para ser consumido, tal como se observa en la Tabla 4:

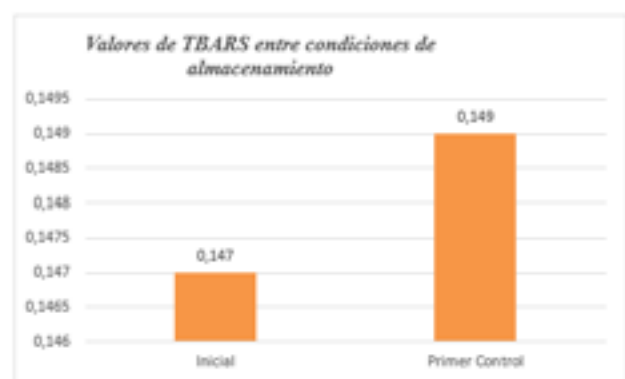
Tabla 4.

Comparación de valores de TBARS entre condiciones de almacenamiento

Condición	Variación Total en TBARS (mg MDA/kg) durante 21 días	Aumento porcentual (%)
Congelación (-18°C)	0,018 (de 0,147 a 0,151)	+2,7%
Refrigeración (4°C)	0,576 (de 0,128 a 0,704)	+450%

Figura 2

Valores de TBARS entre condiciones de almacenamiento



Los hallazgos indican que la congelación redujo significativamente la oxidación de lípidos y solo se observó un aumento del 12,58% en los valores de TBARS a lo largo del estudio. En contraste, el almacenamiento en refrigeración promovió una oxidación acelerada a partir de los 14 días mostrando un incremento del 79,92 % en la rancidez medida en TBARS.

Factores de riesgo asociados a la rancidez lipídica

A continuación, se presentan los resultados de los análisis correspondientes a los niveles de bacterias mesófilas aerobias, presentes en las muestras de carne almacenadas tanto en un ambiente frío (-18°C) como en refrigeración (4°C), así como la presencia de *Escherichia coli* y la detección de *Salmonella spp.*, durante un periodo total de 21 días; los resultados se muestran en la Tabla 5:

Tabla 5.

Resultados de los análisis de microorganismos en muestras de carne de cerdo cruda

Parámetro	Temp	Unidad	Inicial (29-11-2024)	1er Control (10-12-2024)	2do Control (13-12-2024)	3er Control (20-12-2024)
Aerobios Mesófilos	-18°C	UFC/g	30 x 10 ³	25 x 10 ³	53 x 10 ³	75 x 10 ³
<i>Escherichia coli</i>		UFC/g	< 10	< 10	< 10	< 10
<i>Salmonella spp</i>		Ausencia/Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Aerobios Mesófilos	4°C	UFC/g	11 x 10 ³	19 x 10 ³	36 x 10 ³	41 x 10 ³
<i>Escherichia coli</i>		UFC/g	< 10	< 10	< 10	< 10
<i>Salmonella spp</i>		Ausencia/Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Figura 3

Microorganismos presentes en la carne de cerdo



Los resultados muestran que, a una temperatura de -18°C, se observaron cambios en la cantidad de bacterias aeróbicas mesófilas presentes en el primer control 30 x 10³ UFC/g,

aumentando a 25×10^3 UFC/g, seguido por un aumento de 53×10^3 UFC/g en el segundo control y luego volviendo a aumentar a 75×10^3 UFC/g en el tercer experimento. Esto sugiere que la congelación reduce la velocidad de crecimiento bacteriano, pero no lo elimina por completo, y es posible que haya reacciones microbianas nuevamente tras la exposición a temperaturas de descongelación.

Durante el almacenamiento en frío a 4°C , la cantidad de microorganismos aeróbicos mesófilos aumentó gradualmente de 11×10^3 UFC/g en el día 0 a 41×10^3 UFC/g en el día 21, lo que equivale a un aumento del 215%. Estos resultados confirman que la refrigeración disminuye la velocidad de crecimiento microbiano, pero no lo detiene por completo, lo que puede contribuir al deterioro del producto a largo plazo. Por otra parte, los niveles de *Escherichia coli* se mantuvieron por debajo del umbral de detección en todas las muestras y no se detectó *Salmonella spp.*, lo que sugiere unas condiciones higiénicas adecuada y la ausencia de contaminación patógenos.

Resultados laboratorio LASA

Se realizaron análisis de estabilidad de lípidos en carne de cerdo cruda para evaluar el índice de peróxido (IP), durante un periodo de 28 días en carne conservada a 4°C y -18°C , los resultados se muestran en la Tabla 6:

Tabla 6.
Índices de peróxidos en muestras de carne de cerdo cruda

Parámetro	Temp.	Unidad	Inicial (29-11-2024)	1er Control (10-12-2024)	2do Control (13-12-2024)	3er Control (20-12-2024)
Índice de Peróxidos	-18°C	mEq O ₂ /kg	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3
	4°C	mEq O ₂ /kg	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3

Los resultados obtenidos nos muestran una consistencia en el nivel de peróxidos para muestras refrigeradas a 4°C y -18°C , siendo estas (< 0,3 mEq O₂/kg) al igual que los resultados anteriores. En la Tabla 7, se presentan los

resultados de la rancidez en muestras de carne de cerdo cruda para cada control:

Tabla 7.
Rancidez en muestras de carne de cerdo cruda

Parámetro	Temp.	Unidad	Inicial (29-11-2024)	1er Control (10-12-2024)	2do Control (13-12-2024)	3er Control (20-12-2024)
Rancidez	-18°C	mg aldehído mal/kg	0,147	0,149	0,148	0,151
	4°C	mEq O ₂ /kg	0,128	0,205	0,457	0,704

Los resultados presentan unas pequeñas variaciones en los niveles de malondialdehído (MDA), pasando de 0,147 mg MDA/kg a 0,151 mg MDA/kg, además se aprecia que el producto al estar congelado tiene una disminución en la exposición al oxígeno y se reduce la actividad enzimática lo que causa el deterioro del producto. En la Tabla 8, se presenta la comparación de valores de TBARS entre condiciones de almacenamiento:

Tabla 8.
Comparación de valores de TBARS entre condiciones de almacenamiento

Condición	Variación Total en TBARS (mg MDA/kg) durante 21 días	Aumento porcentual (%)
Congelación (-18°C)	0,004 (de 0,147 a 0,151)	+2,7%
Refrigeración (4°C)	0,576 (de 0,128 a 0,704)	+450%

En los resultados se observó un aumento del 20 % en los valores de TBARS en congelación de -18°C , además de un aumento del 450 % en los valores de TBARS en una congelación de 4°C . En la Tabla 9, se presentan los resultados de los análisis de microorganismos en muestras de carne de cerdo cruda:

Tabla 9.
Resultados de los análisis de microorganismos en muestras de carne de cerdo cruda

Parámetro	Temp	Unidad	Inicial (29-11-2024)	1er Control (10-12-2024)	2do Control (13-12-2024)	3er Control (20-12-2024)
Aerobios Mesófilos	-18°C	UFC/g	35 x 10 ³	73 x 10 ³	19 x 10 ³	86 x 10 ³
<i>Escherichia coli</i>		UFC/g	< 10	< 10	< 10	< 10
<i>Salmonella spp</i>		Ausencia/Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Aerobios Mesófilos	4°C	UFC/g	13 x 10 ³	29 x 10 ³	33 x 10 ³	41 x 10 ³
<i>Escherichia coli</i>		UFC/g	< 10	< 10	< 10	< 10
<i>Salmonella spp</i>		Ausencia/Presencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Los resultados muestran que a temperatura de -18°C, presentan cambios en la cantidad de bacterias aeróbicas mesófilas, reduciendo la velocidad del crecimiento bacteriano, pero no lo elimina por completo, en la temperatura de 4°C, la cantidad de microorganismos aeróbicos mesófilos aumentó gradualmente.

Discusión

Los resultados obtenidos en la evaluación del Índice de Peróxidos (IP) indicaron que no se observaron cambios significativos en la oxidación de los lípidos de la carne de cerdo cruda almacenada a -18°C (congelación) y 4°C (refrigeración) durante un periodo de 21 días. A pesar de que se anticipaba un aumento mayor del IP en la carne refrigerada, los valores se

mantuvieron por debajo del límite de detección (< 0,3 mEq O₂/kg). En todas las muestras se observó que el proceso de almacenamiento fue efectivo para evitar la oxidación de los lípidos principales. Estos resultados sugieren que es fundamental manejar adecuadamente la temperatura de almacenamiento para conservar la estabilidad lipídica; sin embargo, otros aspectos como el tipo de envase y la exposición al oxígeno podrían afectar la aparición de rancidez a largo plazo.

El análisis del índice de TBARS reveló una clara disparidad en los efectos de la congelación y la refrigeración en cuanto a la estabilidad lipídica de la carne porcina. Mientras que la congelación a -18°C mantuvo la rancidez oxidativa estable presentando solo un mínimo aumento del 12,58 % en 21 días; en cambio bajo refrigeración a 4°C se observó un incremento del 79,92%, mostrando un acelerado aumento a partir del día 14. Estas conclusiones confirman que el enfriamiento favorece el avance de la oxidación de los lípidos a lo largo del tiempo y afecta la calidad sensorial y nutricional de la carne debido a la acumulación de subproductos de oxidación.

El análisis microbiológico reveló que, aunque la bacteria se ralentiza al estar en frío no desaparece por completo; esto se reflejó en las fluctuaciones del recuento de bacterias aerobias durante el almacenamiento del producto en cuestión. En cambio, el enfriamiento favoreció un aumento progresivo de microorganismos aumentando un 215 % en 21 días; lo cual implica un riesgo considerable para la calidad y seguridad del alimento. A pesar de esto no se detectó ninguna presencia de *Escherichia coli* ni *Salmonella spp* en ninguna de las muestras analizadas.

Para asegurar que la carne de cerdo cruda mantenga su calidad y estabilidad lipídica durante el almacenamiento a largo plazo, es recomendable utilizar la técnica de congela a -18°C como el método más eficiente para disminuir la oxidación de los lípidos y reducir la proliferación de microorganismos. Si se opta por refrigerar a 4°C en lugar de congela a -18°C,

es importante limitar el tiempo de conservación a menos de dos semanas para evitar un aumento rápido en la rancidez oxidativa y el crecimiento microbiano. Además de esto es esencial complementar las tácticas de preservación utilizando envoltorios apropiados que reduzcan la cantidad de oxígeno un proceso y en caso de ser factible emplear tecnologías como el envasado al vacío o conservantes antioxidantes para extender la duración del producto sin perjudica su calidad sensorial y nutricional. Por último, resulta crucial mantener rigurosas normas de limpieza y supervisión de los microorganismos para prevenir la contaminación cruzada garantizando así la seguridad alimentaria en todo momento durante el almacenamiento y distribución de la carne.

Referencias bibliográficas

- Ahmad, A., Mahmood, N., Hussain, M., Aiman, U., Al-Mijalli, S., & Raza, M. (2023). Improvement in oxidative stability and quality characteristics of functional chicken meat product supplemented with aqueous coriander extract. *Int J Food Prop*, 26, 855–65. doi:10.1080/10942912.2023.2189086
- Al-Shibli, M., Hashim, A., & Ali, R. (2023). Evaluation of meat and meat product oxidation and off-flavor formation: Managing oxidative changes. *Theory and practice of meat processing*, 8(4), :302-315. doi:10.21323/2414-438X-2023-8-4-302-315
- Amaral, A., Silva, M., & Lannes, S. (2018). Lipid oxidation in meat: mechanisms and protective factors – a review. *Food Sci. Technol, Campinas*, 38, 1-15. <https://www.scielo.br/j/cta/a/3ZDMTNLBZ63pGz3DgsbyS7h/?format=pdf&lang=en>
- Catalán, V., & Gómez, J. (2018). Inflammatory and Oxidative Stress Markers in Skeletal. *Clinica Universidad de Navarra*. doi:10.1016/B978-0-12-812504-5.00008-8
- Coombs, C., Holman, B., Ponnampalam, E., Morris, S., Friend, M., & Hopkins, D. (2019). Effects of chilled and frozen storage conditions on the lamb M. longissimus lumborum fatty acid and lipid oxidation parameters. *Meat Sci.*, 136, 116–122.
- Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F., Zhang, W., & Lorenzo, J. (2019). A Comprehensive Review on Lipid Oxidation in Meat and Meat Products. *Antioxidants (Basel)*, 8(10). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6827023/>
- Equipo de Expertos en Ciencias de la Salud. (.7 de 07 de 2021). *Control de calidad de alimentos. ¿En qué consiste?* Universidad Internacional de Valencia.
- Feng, X., Li, J., Zhang, L., Rao, Z., Feng, S., Wang, Y., & Liu, H. (2022). Integrated Lipidomic and Metabolomics Analysis Revealing the Effects of Frozen Storage Duration on Pork Lipids. *Metabolites*, 12(10), 977. <https://doi.org/10.3390/metabo12100977>
- Graciano, M., Rodríguez, J., Sumaya, M., & Balois, R. (2022). Efecto de extractos naturales sobre la estabilidad oxidativa de hamburguesas de carne de cerdo durante el almacenamiento refrigerado. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 13(2). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242022000200323#B2
- Innovad. (2020). *Innovad Create Trust*. Obtenido de <https://innovadglobal.com/es/conservacion-de-alimentos>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016). *NTE INEN 776:2016. Calidad del agua – Muestreo para análisis microbiológico*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016). *INEN 1529-2. Análisis microbiológico del agua – Parte 2: Métodos para la enumeración de organismos coliformes y Escherichia coli – Método del número más probable (NMP)*.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2016). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2346 Carne y menudencias comestibles de animales de abasto. Requisitos*.

- Ko, C., Qu, J., Black, D., & Tso, P. (2020). Regulation of intestinal lipid metabolism: Current concepts and relevance to disease. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.*, 17, 169–183.
- Muzolf, M., Kaczmarek, A., Tomaszewska, J., Cegielska, R., & Majcher, M. (2019). Oxidative and microbiological stability of raw ground pork during chilled storage as affected by Plant extracts. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 111–129. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1579834>
- Ramírez, M., Vargas, R., Torres, B., Torrescano, G., Lorenzo, J., & Sánchez, A. (2019). Inclusion of Ethanol Extract of Mesquite Leaves to Enhance the Oxidative Stability of Pork Patties. *Foods*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/foods8120631>
- Reitznerová, A., Sulekova, M., Nagy, J., Marcincák, S., Semjon, B., Certík, M., & Klempová, T. (2017). Lipid Peroxidation Process in Meat and Meat Products: A Comparison Study of Malondialdehyde Determination between Modified 2-Thiobarbituric Acid Spectrophotometric Method and Reverse-Phase High-Performance Liquid Chromatography. *Molecules*, 22(11). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6150165/>
- Tatiyabor, N., Oz, F., Richards, M., & Wu, H. (2022). Paradoxical effects of lipolysis on the lipid oxidation in meat and meat products. *Food Chem.*, 14(100317).
- Wang, D., Xiao, H., Lyu, X., Chen, H., & Wei, F. (2023). Lipid oxidation in food science and nutritional health: a comprehensive review. *Oil Crop Sci.*, 8, 35–44. doi:10.1016/j.ocsci.2023.02.002
- Zhou, B., Luo, J., Quan, W., Lou, A., & Shen, Q. (2023). Antioxidant activity and sensory quality of bacon. *Foods. Front. Nutr.*, 11(366). doi:10.3390/foods11020236