



UNIVERSIDAD TECNÓLOGICA DE LA MIXTECA

Labor et Sapientia Libertas

**EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE EXTRACTOS ETANÓLICOS DE ARILO DE
GUAMÚCHIL (*Pithecellobium dulce*) SOBRE LA ESTABILIDAD OXIDATIVA DE CARNE
PROCESADA DE BOVINO**

Tesis para obtener el grado de:

Ingeniero en alimentos

Presenta:

Yaneisy Yedani Martínez Martínez

Directora de tesis:

Dra. Luz Hermila Villalobos Delgado

Co-directora:

Dra. Paula Cecilia Guadarrama Mendoza

Huajuapán de León, Oaxaca, México. Enero de 2026.

ACTIVIDADES ACADÉMICAS Y DE INVESTIGACIÓN

Participación con la ponencia en modalidad oral: “Efecto antioxidante de extractos del fruto de guamúchil (*Pithecellobium dulce*) en carne molida de res”. **Martínez-Martínez, YY.**, Oropeza Arellano, JD., Águila González, MF., Bravo Alonso, AS., Soto Castro, D., Guadarrama Mendoza, PC., Villalobos Delgado, LH., en el marco del XI Congreso de la Facultad de Ingeniería Química (CONFIC-11), Mérida, Yucatán, realizado del 8 al 10 de octubre de 2025.

Participación como co-autora en el artículo científico: Villalobos-Delgado, LH., **Martínez-Martínez, YY.**, Nevárez-Moorillón, GV., Santiago-Castro, JT., Soto-Simental, S., Juárez-Palomo, CI., Guadarrama-Mendoza, PC. (2025). Physicochemical properties and volatile profile of chito: a traditional dry-cured goat meat product. *Foods*, 14(13), 2341. <https://doi.org/10.3390/foods14132341>

Participación como Líder de equipo en la organización y desarrollo de la actividad: “Exposición de alumnos de la carrera de Ingeniería en Alimentos: *Procesamos juntos para una vida mejor*”, realizada en el marco de la 9ª Jornada de Ingeniería en Alimentos: *Derecho a los alimentos para una vida y futuro mejores*. Universidad Tecnológica de la Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca. 29 de noviembre de 2024.

Primer lugar en el Concurso de Alimentos, mediante el desarrollo de la botana “*Chilinez*”, durante la 8ª Jornada de Ingeniería en Alimentos, realizada los días 17 y 18 de octubre de 2023, en el marco del Día Mundial de la Alimentación.

Participación como co-autora en el cartel científico “Efecto del prensado sobre la oxidación lipídica y recuento microbiológico en carne de chivo ‘chito’”. Santiago-Castro, JT., Navarro-Olivera, AA., Ramírez-Andrade, J., **Martínez-Martínez, YY.**, Villalobos-Delgado, LH presentado en el 4º Foro Virtual AMEXITIC., del 26 al 27 de octubre de 2023.

Asistencia al curso: “Uso de aplicaciones de Google Suite como apoyo en el aula”, impartido dentro del proyecto “Fortalecimiento del proceso de enseñanza–aprendizaje a través del uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación. Primera etapa”. Modalidad virtual, Universidad Tecnológica de la Mixteca. Diciembre de 2020.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Tecnológica de la Mixteca, por brindarme una formación integral y la oportunidad de desarrollarme académica y profesionalmente dentro de sus aulas y laboratorios.

Expreso mi más profundo agradecimiento a la Dra. Luz H. Villalobos Delgado, directora de esta tesis, por su constante apoyo, orientación y confianza. Su acompañamiento no solo fortaleció mi formación científica, sino que también me brindó respaldo en momentos personales y familiares difíciles, por lo cual le estoy sinceramente agradecida.

A la Dra. Paula Cecilia Guadarrama Mendoza, jefa de la Carrera de Ingeniería en Alimentos, por sus valiosos consejos, gestiones y apoyo brindado durante el desarrollo de este proyecto.

A la Dra. Delia Soto Castro, investigadora del CIIDIR-Oaxaca, por permitirme trabajar en su laboratorio, así como por sus enseñanzas, recomendaciones académicas y la oportunidad de fortalecer mis habilidades en investigación.

A la Dra. Mirna Patricia Santiago Gómez, por permitirme utilizar su colorímetro, herramienta fundamental para el análisis instrumental realizado. Asimismo, al Dr. Vania Shuhua Robles, por brindarme acceso a su espectrofotómetro, indispensable para la caracterización de los extractos y muestras empleadas en esta investigación.

Agradezco también al Dr. Rogelio Valadez Blanco, al M.C. Assad Bautista García y a los miembros del comité revisor por sus observaciones, comentarios y contribuciones que enriquecieron significativamente la presente tesis.

De igual forma, extendiendo mi agradecimiento a la I.A. Irma Gonzáles Cruz, I.A. Rocío Espinoza Rivera, I.A. Tenoch Santiago Castro y el Biólogo Ulises, por su apoyo constante y acompañamiento en las actividades de laboratorio, así como por facilitarme el acceso a los diferentes espacios e instrumentos necesarios para llevar a cabo este trabajo.

A Luis Arturo, por su constante motivación, paciencia y acompañamiento, elementos que me impulsaron a continuar avanzando incluso en los momentos más desafiantes de este proceso.

A Donají, por sus enseñanzas y el apoyo académico recibido durante mi estancia en el CIIDIR-IPN Oaxaca, experiencia que fortaleció significativamente mi formación y desempeño en el laboratorio.

A María Fernanda Águila González y Erika Jiménez Pacheco, estudiantes de maestría, por su apoyo en el laboratorio y la colaboración brindada en las actividades experimentales que dieron sustento a esta investigación.

A Jaque, por su compañerismo y por el trabajo conjunto durante las largas jornadas en el laboratorio.

Finalmente, a Ale, por sus llamadas, palabras de aliento y respaldo emocional, que me ayudaron a mantenerme enfocada y a perseverar hasta concluir este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi corazón a mi mami, quien ha sido mi guía, mi impulso y mi mayor ejemplo. Gracias por acompañarme en cada etapa, por tu apoyo incondicional y por enseñarme a ser fuerte y perseverante.

A mis hermanos Perla, Ofe, Argeo, Celia, Memo y Moi, quienes más que hermanos han sido mi fortaleza. Gracias por su cariño, por sus palabras, por motivarme a seguir cuando más lo necesitaba y por enseñarme que nunca estoy sola. A Rodri y Ema, mis cómplices de vida, gracias por creer en mí, por acompañarme y por hacer más ligeros los días difíciles.

A mis abuelitos, que siempre me llevan en sus oraciones y cuyo amor me sostiene incluso en la distancia.

Y a Luis Arturo, por ser parte fundamental en mi camino. Gracias por tu compañía, tu paciencia y tu apoyo constante; por celebrar conmigo cada logro y estar a mi lado en cada reto. Encontrarte ha sido uno de los regalos más bonitos de esta etapa.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito evaluar la capacidad antioxidante de extractos de arilo de guamúchil rojo (GR), blanco (GB) y una mezcla de ambos (GM) para determinar su efecto sobre la estabilidad oxidativa y fisicoquímica en carne molida de bovino en estado crudo y cocido. Para ello, los frutos maduros fueron recolectados, lavados, separados y deshidratados, obteniéndose rendimientos en base húmeda de 60.7 % para el arilo blanco y 59.8 % para el rojo. Se prepararon extractos etanólicos considerando el polvo del arilo del guamúchil rojo (GR), blanco (GB) y la mezcla de ambos (GM), los cuales fueron caracterizados *in vitro* considerando determinar el contenido de polifenoles totales (CPT) y la actividad antioxidante. Posteriormente, los extractos fueron incorporados en carne molida de bovino. Se prepararon cinco tratamientos considerando carne cruda y cocida: control negativo (CTL sin antioxidante), control positivo (ASC, ascorbato de sodio a 100 mg/kg de carne), carne adicionada con extracto de guamúchil rojo (GR), carne con extracto de guamúchil blanco (GB) y carne con una mezcla de ambos extractos (GM). Los extractos fueron incorporados a una concentración de 3 g/kg de carne. En la carne molida cruda se determinó la composición proximal al inicio del almacenamiento (día 1), mientras que el pH, color instrumental, el porcentaje de metamioglobina y la estabilidad oxidativa (TBARS) se evaluaron durante su almacenamiento en refrigeración en los días 1, 3, 6 y 8. En la carne cocida se determinó el pH y la estabilidad oxidativa (TBARS) en los días 1, 3 y 6 de almacenamiento. Asimismo, la evaluación sensorial se realizó en carne molida cocida, al día 3 de almacenamiento en refrigeración, mediante una prueba de medición de agrado con una escala hedónica de cinco puntos, aplicada a los tratamientos CTL, GR y ASC, evaluando los atributos de color, olor, sabor y aceptabilidad general.

El contenido de polifenoles totales y la actividad antioxidante mostraron valores similares entre los tratamientos. En relación con las propiedades fisicoquímicas, la composición proximal no presentó diferencias significativas entre tratamientos con respecto al control negativo, y el pH fue similar tanto en la carne cruda como en la cocida. El cambio total de color (ΔE_{1-8}) fue menor en los tratamientos con el extracto de guamúchil blanco y la mezcla de guamúchil (3.70) en comparación con el control negativo (5.06), mientras que el tratamiento con guamúchil rojo presentó un valor intermedio (4.16), lo que sugiere una mayor estabilidad cromática en la carne tratada con extractos naturales. El porcentaje de metamioglobina (%MMb) aumentó en la mayoría de los tratamientos durante el almacenamiento, alcanzando 39.6 % en el control negativo, mientras que la carne tratada con el extracto de guamúchil rojo (GR) mostró el menor porcentaje de metamioglobina (≈ 34 %).

Con respecto a la estabilidad oxidativa en la carne cruda, se observó que al día 8 de almacenamiento, el tratamiento con guamúchil rojo presentó el valor más bajo en el contenido de malondialdehído (TBARS) (0.37 mg MAD/kg) comparado con el CTL (0.5 mg MAD/kg). En carne cocida, la mayoría de los tratamientos presentaron valores por encima de 2 mg MAD/kg, a excepción del tratamiento ASC, el cual presentó la menor oxidación en todos los días evaluados (0.58, 0.68 y 1.92 mg/kg). Finalmente, la evaluación sensorial de la carne molida cocida, mostró que en los tratamientos evaluados las respuestas de los panelistas se concentraron principalmente en la categoría “me gusta moderadamente”, sin observarse porcentajes relevantes en las categorías de disgusto. El tratamiento con extracto de guamúchil rojo presentó niveles de aceptación comparables al control negativo y al tratamiento con ascorbato de sodio, lo que indica que la incorporación del extracto no comprometió la percepción sensorial del producto ni generó rechazo por parte de los evaluadores.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.	1
2	MARCO TEÓRICO.	3
2.1	Generalidades del guamúchil.	3
2.1.1	Origen, distribución geográfica y clasificación taxonómica.	3
2.1.2	Composición nutrimental.	4
2.1.3	Usos del fruto.	5
2.2	Productos cárnicos.	6
2.2.1	Clasificación.	6
2.2.2	Carne molida.	8
2.3	Procesos oxidativos y sus efectos sobre la calidad de la carne.	8
2.3.1	Oxidación lipídica.	8
2.3.2	Oxidación de la mioglobina.	9
2.3.3	Warm Over Flavor (WOF).	9
2.4	Sistema de color CIELAB y su aplicación en productos cárnicos.	10
2.5	Uso de antioxidantes en carne.	12
2.5.1	Antioxidantes sintéticos.	12
2.5.2	Antioxidantes naturales.	12
2.5.2.1	Estructura química de polifenoles.	13
2.5.2.2	Mecanismos de acción.	14
2.5.2.3	Beneficios a la salud.	15
3	ESTADO DEL ARTE.	16
4	JUSTIFICACIÓN.	17
5	HIPÓTESIS.	18
6	OBJETIVOS.	19
6.1	Objetivo general.	19

6.2	Objetivos específicos.....	19
7	MATERIAL Y MÉTODOS.	20
7.1	Obtención de la materia prima, análisis proximal.....	20
7.1.1	Obtención de materia prima.....	20
7.1.2	Acondicionamiento de materia prima.....	21
7.1.3	Análisis proximal del arilo de guamúchil.	21
7.1.3.1	Determinación del contenido de humedad.	21
7.1.3.2	Determinación del contenido de cenizas.	21
7.1.3.3	Determinación del contenido de grasa.....	22
7.1.3.4	Determinación del contenido de proteína.	22
7.1.3.5	Determinación del contenido de fibra.....	23
7.2	Preparación de los extractos del arilo de guamúchil.	23
7.3	Caracterización <i>in vitro</i> de los extractos de guamúchil.	24
7.3.1	Contenido de polifenoles totales.....	24
7.3.2	Capacidad antioxidante por el método de DPPH•.....	24
7.3.3	Capacidad antioxidante por el método de CUPRAC.....	25
7.4	Incorporación de los extractos del arilo de guamúchil en la matriz cárnica. ...	26
7.4.1	Análisis proximal de la carne.....	27
7.4.1.1	Determinación del contenido de humedad/ materia seca.	27
7.4.1.2	Determinación del contenido de cenizas.	27
7.4.1.3	Determinación del contenido de grasa (método Soxhlet).	27
7.4.1.4	Determinación del contenido de proteína	28
7.5	Determinaciones fisicoquímicas sobre la carne molida.	28
7.5.1	Determinación del pH.....	28
7.5.2	Determinación de color instrumental.	28
7.5.3	Contenido de metamioglobina.....	29

7.5.4	Determinación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS).	29
7.6	Análisis sensorial.	30
7.7	Análisis estadístico.	30
8	RESULTADOS Y DISCUSION.	31
8.1	Caracterización del arilo de guamúchil.	31
8.1.1	Rendimiento.	31
8.1.2	Composición proximal del fruto de guamúchil en polvo.	32
8.2	Caracterización <i>in vitro</i> de los extractos.	33
8.2.1	Contenido de polifenoles totales (CPT) de los extractos del arilo de guamúchil.	33
8.2.2	Actividad antioxidante (DPPH• y CUPRAC) de los extractos del arilo de guamúchil.	34
8.3	Determinaciones en la carne molida.	35
8.3.1	Composición proximal en carne molida de bovino.	35
8.3.2	Efecto de la incorporación de los extractos de guamúchil sobre el pH de la carne molida de bovino cruda y cocida.	36
8.3.3	Efecto de la incorporación de los extractos del arilo de guamúchil sobre el color instrumental y cambio total de color (ΔE) en carne molida cruda.	38
8.3.4	Efecto de la incorporación de los extractos del arilo de guamúchil sobre el contenido de metamioglobina en carne molida cruda.	43
8.3.5	Efecto de la incorporación de los extractos del arilo de guamúchil sobre los TBARS en carne molida cruda y cocida.	44
8.3.6	Evaluación sensorial de la carne molida.	49
9	CONCLUSIONES	54
10	REFERENCIAS	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: El guamúchil (<i>Pithecellobium dulce</i>).....	3
Figura 2: Arilo de guamúchil.....	4
Figura 3: El Espacio de Color CIE $L^*a^*b^*$	11
Figura 4: Estructura básica de las principales subclases diferentes de flavonoides (Bertelli et al., 2021).....	14
Figura 5: Arilo rojo.....	20
Figura 6: Arilo blanco.....	20
Figura 7: Rendimiento del arilo del guamúchil blanco y rojo.....	31
Figura 8: Efecto de la incorporación del extracto del arilo de guamúchil sobre %MMb en carne molida de res cruda almacenadas a 4 °C.....	43
Figura 9: Efecto de la incorporación del extracto del arilo de guamúchil sobre TBARS (Sustancias reactivas a ácido tiobarbitúrico: mg de MAD/kg carne), en carne molida cruda almacenadas a 4 °C.....	45
Figura 10: Efecto de la incorporación del extracto del arilo de guamúchil sobre TBARS (Sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico; mg de MAD/kg carne) en carne molida cocida almacenadas a 4 °C.....	47
Figura 11: Porcentaje del nivel de agrado del atributo color según la escala hedónica para carne molida cocida (CTL, GR y ASC).....	50
Figura 12: Porcentaje del nivel de agrado del atributo olor según la escala hedónica para carne molida cocida (CTL, GR y ASC).....	51
Figura 13: Porcentaje del nivel de agrado del atributo sabor según la escala hedónica para carne molida cocida (CTL, GR y ASC).....	52
Figura 14: Porcentaje del nivel de agrado aceptabilidad general según la escala hedónica para carne molida cocida (CTL, GR y ASC).....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Análisis proximal (base seca) del arilo de guamúchil blanco, rojo y mezcla.	32
Tabla 2 : Contenido polifenoles totales (CPT) en los extractos de guamúchil.	33
Tabla 3 : Actividad antioxidante mediante el método de DPPH• y CUPRAC en los extractos de guamúchil.....	34
Tabla 4 : Efecto de la incorporación de los extractos del fruto de guamúchil sobre la composición proximal de carne molida de bovino.	36
Tabla 5 : Efecto de la incorporación del extracto del arilo de guamúchil sobre el pH en carne molida cruda y cocida de res almacenadas a 4 °C.	37
Tabla 6 : Efecto de la incorporación de los extractos del fruto de guamúchil sobre las variables del color instrumental en carne molida cruda.	40
Tabla 7 : Efecto de la incorporación de los extractos la incorporación de los extractos del fruto de guamúchil sobre el ΔE en carne molida cruda.	42

1 INTRODUCCIÓN.

La oxidación lipídica en productos cárnicos deteriora características sensoriales como el color, el sabor y la textura, además de reducir su valor nutricional y vida útil. Este fenómeno es particularmente acelerado en carne molida y hamburguesas debido a su mayor exposición al oxígeno y a su contenido de ácidos grasos poliinsaturados (Estévez, 2011; Kanner, 1994; Villalobos-Delgado et al., 2017). Durante este proceso se generan radicales libres que favorecen la rancidez y la formación de compuestos tóxicos, como el malondialdehído, asociados a efectos mutagénicos y carcinogénicos (Kanner, 1994). Para contrarrestar estos efectos, la industria ha recurrido al uso de antioxidantes sintéticos como el butilhidroxianisol (BHA), el butilhidroxitolueno (BHT) y la terbutilhidroquinona (TBHQ). Sin embargo, Kahl & Kappus (1993) reportaron que en dosis elevadas el BHA se relaciona con la formación de tumores no genotóxicos en animales y el BHT con daños hepáticos, lo que ha generado preocupación en torno a su seguridad alimentaria.

Ante esta problemática, distintos autores han explorado alternativas naturales a los antioxidantes sintéticos, destacando el uso de frutos ricos en compuestos bioactivos. Ahn et al. (2004) demostraron que extractos de uva reducen significativamente la oxidación lipídica y ayudan a mantener el color en carne molida durante el almacenamiento en refrigeración. De manera similar, Kim et al. (2013) evaluaron extractos de frutos como granada y arándano en carne molida fresca, observando una mejora en la estabilidad oxidativa y en las propiedades nutricionales. Por su parte, Pateiro et al. (2021) revisaron diferentes extractos de origen vegetal entre ellos la pitaya roja. Los autores destacaron que los extractos obtenidos con solventes verdes prolongan la vida útil de los productos cárnicos y responden a la demanda de ingredientes naturales sostenibles. Más recientemente, Bellucci et al. (2022) encontraron que la guayaba rosada, por su alto contenido en carotenoides y licopeno, mejora la estabilidad del color y reduce la oxidación lipídica en emulsiones cárnicas. En conjunto, estas evidencias confirman que los extractos representan una fuente prometedora de antioxidantes naturales para la conservación de la carne y sus derivados.

El guamúchil (*Pithecellobium dulce*), es una leguminosa nativa de México, que emerge como un recurso de interés. Autores como Pío-León et al. (2013) caracterizaron el fruto en sus variedades roja y blanca y señalaron que su arilo es particularmente rico en polifenoles, antocianinas, vitamina C y fibra dietética; compuestos asociados a la alta capacidad

antioxidante en ensayos como ABTS, DPPH• y FRAP. De la misma manera, Vargas-Madriz et al. (2020) confirmaron estas propiedades, resaltando el potencial del fruto como un antioxidante natural. Por lo tanto, en la presente investigación se propone determinar el efecto de extractos del arilo del fruto de guamúchil sobre la estabilidad oxidativa de carne molida (cruda y cocida) durante su almacenamiento en refrigeración, con el propósito de desarrollar alimentos más naturales y seguros, aprovechando recursos vegetales regionales.

2 MARCO TEÓRICO.

2.1 Generalidades del guamúchil.

2.1.1 Origen, distribución geográfica y clasificación taxonómica.

En la figura 1, se muestra el aspecto general del guamúchil (*Pithecellobium dulce*) es un árbol leguminoso que pertenece al clado *Pithecellobium*, dentro de la tribu Ingeae (Fabaceae: Caesalpinioideae). Se distingue por su rápido crecimiento y amplia adaptabilidad; características que han favorecido su introducción en diversas regiones tropicales y subtropicales. Su origen se ubica en el continente americano, aunque actualmente se ha expandido a países como India, China y diversas zonas del África tropical (Alemán-Ramírez et al., 2024; Murugesan et al., 2019).

En la actualidad el guamúchil (*Pithecellobium dulce*) es una especie ampliamente distribuida en México, donde crece desde las zonas áridas del norte hasta regiones tropicales del sur. Esta amplitud geográfica refleja su notable capacidad de adaptación a diferentes climas, altitudes y tipos de suelo, lo que refuerza su importancia ecológica, alimentaria y socioeconómica (Olivas-Aguirre et al., 2018).



Figura 1: El guamúchil (*Pithecellobium dulce*).



Figura 2: Arilo de guamúchil.

El guamúchil (*Pithecellobium dulce*) es un árbol que puede alcanzar entre 15 y 20 metros de altura, con un tronco de hasta 2 metros de diámetro y copa amplia (Alemán-Ramírez et al., 2024; Pío-León et al., 2013). Los frutos son vainas curvadas o en espiral, de color marrón rojizo y hasta 20 cm de longitud, que contienen un arilo comestible de sabor dulce. La Figura 2 muestra el arilo de guamúchil, cuya tonalidad varía del blanco al rojo intenso. Cada árbol puede producir alrededor de 40 kg de vainas, compuestas principalmente de pulpa, semillas y cáscara. La pulpa es altamente perecedera, con una vida útil de apenas 3 a 4 días a temperatura ambiente, ya que al abrirse la vaina queda expuesta a microorganismos y condiciones ambientales (Alemán-Ramírez et al., 2024).

2.1.2 Composición nutrimental.

El fruto de guamúchil se caracteriza por un arilo comestible rico en compuestos bioactivos. Autores como Pío-León et al. (2013) reportaron que los arilos, tanto blancos como rojos, poseen un elevado contenido de vitamina C (79.7–82.6 mg/100 g de peso fresco) y fibra dietaria (5.83–6.12%). Además, estos autores señalaron que el arilo rojo contiene antocianinas (29.5 mg/100 g peso fresco, expresadas como equivalentes de cianidina-3-

glucósido) y que su concentración de fenoles totales es aproximadamente 1.3 veces mayor que la del arilo blanco (517 mg GAE/100 g peso fresco), lo cual se refleja también en una mayor actividad antioxidante (ABTS•+ y DPPH•). De manera consistente, Vargas-Madriz et al. (2020) señalaron que el perfil fenólico del fruto incluye flavonoides como quercetina y kaempferol, así como ácidos fenólicos (gálico, cafeico, clorogénico).

Complementando esta información nutricional, Pío-León et al. (2013) reportaron que el arilo contiene minerales esenciales, entre los que destacan potasio (285–326 mg/100 g), calcio (18–35 mg/100 g), fósforo (16–22 mg/100 g), magnesio (28 mg/100 g) y hierro (0.58–0.72 mg/100 g), además de oligoelementos como zinc, cobre y manganeso en menores proporciones. Durante la maduración, Wall-Medrano et al. (2016) observaron un incremento significativo en las antocianinas y proantocianidinas, acompañado de una disminución del ácido ascórbico, lo que refleja cómo el estado de madurez influye directamente en la composición química y en la actividad antioxidante del fruto. Asimismo, López-Angulo et al. (2018) demostraron que las antocianinas del arilo rojo se asocian con elevada capacidad antioxidante y con actividad inhibitoria de α -glucosidasa, reforzando el potencial funcional del guamúchil en la dieta humana.

Por otro lado, las semillas del guamúchil representan una fracción con alto valor nutricional. Alfonso-Acosta et al. (2023) caracterizaron distintas fracciones de la vaina y obtuvieron concentrados proteicos, reportando que las semillas presentan un contenido elevado de proteínas y lípidos, con un perfil de ácidos grasos dominado por insaturados. Además, contienen minerales esenciales como potasio, fósforo, calcio y hierro, así como aminoácidos esenciales, lo que las convierte en una fuente complementaria de nutrientes para la alimentación humana.

Finalmente, Vargas-Madriz et al. (2020) destacan que la actividad antioxidante del guamúchil depende de factores como la variedad, estado de madurez, tejido vegetal analizado y métodos de extracción, lo cual explica la variabilidad reportada entre estudios y subraya la necesidad de estandarización. En conjunto, los hallazgos de los autores coinciden en que el guamúchil es una fuente importante de vitamina C, fibra dietaria, minerales y compuestos fenólicos con aplicaciones potenciales en la salud y en la preservación de alimentos.

2.1.3 Usos del fruto.

El guamúchil es reconocido como una especie multipropósito que ha sido aprovechada tanto en la alimentación humana como en sistemas agropecuarios. El arilo, de sabor dulce,

se consume fresco y constituye la forma más tradicional de aprovechamiento del fruto. Asimismo, se ha documentado su uso en la elaboración de atoles y salsas, lo que resalta su importancia dentro de la gastronomía local (Monroy & Colín, 2004). Además de su función alimenticia, el guamúchil tiene un valor relevante en la ganadería, ya que sus hojas y vainas son empleadas como forraje, especialmente en épocas de escasez de otros recursos. Su rusticidad y capacidad de crecer en suelos pobres y condiciones áridas permiten que la especie contribuya a la seguridad alimentaria del ganado en diversas regiones de México. En el ámbito de la medicina tradicional, el fruto ha sido utilizado para tratar problemas gastrointestinales, como diarreas y malestares estomacales (Hernández-Neri et al., 2021). En este sentido, estudios farmacológicos han corroborado su potencial terapéutico. Los extractos de *P. dulce* han mostrado una destacada capacidad para neutralizar radicales libres y ejercer actividad inhibitoria sobre la enzima, H⁺, K⁺ -ATPase lo que sugiere efectos protectores frente a desórdenes gástricos (Megala & Geetha, 2010). De esta manera, el fruto del guamúchil representa un recurso de interés no solo en el ámbito alimentario y forrajero, sino también en el ámbito científico, donde su potencial antioxidante y gastroprotector abre posibilidades para su aprovechamiento en el desarrollo de alimentos funcionales y nutraceuticos.

2.2 Productos cárnicos.

Los productos cárnicos representan una categoría fundamental dentro de la industria alimentaria, ya que incluyen una gran variedad de alimentos derivados de animales de abasto como el bovino, porcino, aves y ovinos. Estos productos pueden clasificarse de acuerdo con diversos criterios como: el grado de procesamiento, el método de conservación o los ingredientes añadidos. Desde cortes frescos hasta productos fermentados o cocidos, la industria cárnica ha evolucionado hacia sistemas tecnificados que garantizan la inocuidad y prolongan la vida útil de los alimentos, sin dejar de lado sus cualidades nutricionales y sensoriales. Lo anterior, con el objetivo de garantizar la inocuidad, prolongar la vida útil y mantener atributos sensoriales como color, textura, aroma y sabor (Estévez-Moreno & Miranda-de la Lama, 2022; Ursachi et al., 2020). Además de su aporte tecnológico, los productos cárnicos son reconocidos por su alto contenido de proteínas de calidad, minerales y vitaminas (Ursachi et al., 2020).

2.2.1 Clasificación.

La clasificación de los productos cárnicos se fundamenta en los procesos tecnológicos aplicados y en las características sensoriales y de conservación resultantes. De acuerdo

con Mendoza-Martínez (2010) y Venegas Fornias & Valladares Díaz (1999) se distinguen los siguientes productos cárnicos: frescos, crudos, curados y con tratamiento térmico, madurados y semielaborados.

Los productos frescos corresponden a carne que no ha sido sometida a ningún proceso tecnológico más allá de la refrigeración o congelación, como la carne molida o la preparada para embutidos frescos. En este sentido, los productos cárnicos crudos se elaboran a partir de carne, vísceras o sus mezclas, que pueden estar curadas o no, pero no se someten a tratamiento térmico. Su preparación incluye generalmente el uso de condimentos, sal, nitritos, vinagre, especias y, en algunos casos, vino. Estos ingredientes no solo aportan características sensoriales particulares, sino que también contribuyen a limitar el crecimiento microbiano mediante la reducción del pH, lo que prolonga la vida útil respecto a productos completamente frescos. En esta categoría se incluyen ejemplos como carnes adobadas o marinadas crudas listas para cocción. Asimismo, los productos curados utilizan sal, nitritos o nitratos como agentes conservadores para prolongar la vida útil, mejorar el color y desarrollar sabores característicos. En este grupo se encuentra el tocino, el jamón curado y ciertos tipos de chorizo, donde los agentes de curado inhiben el crecimiento microbiano y estabilizan el pigmento cárnico (Mendoza-Martínez 2010). Los cocidos como salchichas, mortadelas y jamones cocidos se someten a un tratamiento térmico que asegura la coagulación de proteínas y la inocuidad microbiológica (Mendoza-Martínez, 2010). Los madurados o fermentados, tales como salami o longaniza, se elaboran mediante fermentación y deshidratación controlada, procesos que generan cambios en la textura y aroma por acción de bacterias ácido-lácticas. Finalmente, los semielaborados se obtienen a partir de carne troceada o desmenuzada, unida por proteínas funcionales o emulsificación, lo que permite obtener piezas de aspecto homogéneo (Venegas Fornias & Valladares Díaz, 1999).

En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2018 (Secretaría de Salud, 2018) establece los lineamientos oficiales para la clasificación y calidad de los productos cárnicos procesados. Esta norma define parámetros de identidad como el contenido mínimo de proteína cárnica, límites máximos de grasa y humedad, uso permitido de aditivos, así como los requisitos microbiológicos. Dichos criterios tienen como objetivo garantizar la inocuidad, estandarizar la producción y proteger la salud del consumidor.

2.2.2 Carne molida.

La carne molida es el producto cárnico fresco procesado más representativo y se obtiene a partir de cortes deshuesados y recortes musculares, que son sometidos a molienda mecánica de alta velocidad para generar una matriz homogénea y manipulable (Loneragan et al., 2019). Este tipo de carne es la base para la elaboración de hamburguesas, uno de los alimentos más consumidos a nivel mundial, apreciado tanto en restaurantes de comida rápida como en hogares. La principal diferencia entre carne molida y hamburguesa radica en la posibilidad de adicionar grasa en esta última; mientras que la carne molida no puede contener grasa añadida. Sin embargo, la hamburguesa sí permite su inclusión, siempre que el contenido total de grasa no exceda el 30% de la mezcla (Unruh et al., 2016). En la producción comercial, la carne molida y las hamburguesas pueden ser elaboradas a partir de diferentes cortes, como *ground chuck* o *ground round*, y en algunos casos incluyen hasta un 25% de carne de mejilla para optimizar sabor y textura (Loneragan et al., 2019). Los procesos industriales involucran molienda, mezclado, formado, congelación y envasado, con controles estrictos de proporción magro/grasa, manejo higiénico y temperaturas, ya que la mayor superficie expuesta aumenta la susceptibilidad a la contaminación microbiana y al deterioro oxidativo (Unruh et al., 2016).

2.3 Procesos oxidativos y sus efectos sobre la calidad de la carne.

2.3.1 Oxidación lipídica.

La oxidación lipídica constituye uno de los principales procesos de deterioro en carne debido a la alta proporción de fosfolípidos con ácidos grasos poliinsaturados. Durante este fenómeno, los radicales libres inician la formación de hidroperóxidos que, al descomponerse, generan compuestos secundarios como aldehídos, cetonas y alcoholes, responsables de la rancidez y de la disminución del valor nutricional (Domínguez et al., 2019; Huang & Ahn, 2019).

La susceptibilidad de la carne a este proceso depende de factores como el grado de insaturación de los lípidos y la exposición a prooxidantes externos. Procesos tecnológicos como la molienda incrementan el área superficial y la liberación de membranas, lo que favorece el contacto de los lípidos con oxígeno y metales de transición. Asimismo, condiciones de almacenamiento como la luz y la temperatura elevada aceleran la reacción, reduciendo la vida útil de los productos cárnicos (Falowo et al., 2014; Huang & Ahn, 2019). Las consecuencias abarcan no solo la aparición de olores y sabores rancios, sino también la pérdida de propiedades funcionales como jugosidad y capacidad de retención de agua.

Además, compuestos derivados de la oxidación lipídica, como el malondialdehído representan un riesgo potencial para la salud, lo que resalta la importancia de implementar estrategias de control de la oxidación lipídica en la industria cárnica (Domínguez et al., 2019; Falowo et al., 2014).

2.3.2 Oxidación de la mioglobina.

La mioglobina determina el color rojo, rosado o marrón de la carne fresca según su estado redox. La forma ligada al oxígeno (oximioglobina, $Fe^{2+}-O_2$) aporta un tono rojo brillante, mientras que la oxidación a metamioglobina (Fe^{3+}) genera decoloración marrón, un defecto visual que reduce la aceptación del consumidor (Hoa et al., 2021; Poveda-Arteaga et al., 2023). Diversos factores intrínsecos modulan la velocidad de oxidación de la mioglobina. Entre ellos se encuentran el pH final del músculo, su posición anatómica dentro del cuerpo, la edad del animal, la raza y el peso de sacrificio. Poveda-Arteaga et al. (2023) señalan que el pH final y la posición del músculo son los factores intrínsecos más determinantes en la estabilidad del color y de la mioglobina. Además, animales con pH elevado presentan mayor contenido de oximioglobina al inicio, pero también mayor riesgo de oxidación si no se controla el ambiente durante almacenamiento.

Por otro lado, factores extrínsecos como la alimentación, el estrés pre-sacrificio, la temporada, la velocidad de enfriamiento post-sacrificio y las condiciones de exhibición (temperatura, atmósfera de empaque, presencia de oxígeno) también influyen fuertemente en la oxidación del pigmento de la mioglobina. Poveda-Arteaga et al. (2023) señalan que los factores extrínsecos ofrecen mayor margen de intervención industrial para minimizar la oxidación que muchos factores intrínsecos.

2.3.3 Warm Over Flavor (WOF).

El fenómeno denominado Warm Over Flavor (WOF) describe el desarrollo de sabores y aromas desagradables que aparecen en la carne cocida tras un periodo corto de almacenamiento refrigerado, generalmente entre 24 y 72 horas. Este deterioro sensorial se caracteriza por notas rancias, “metálicas”, a cartón mojado o grasa oxidada, y constituye uno de los principales problemas de estabilidad en productos cárnicos cocidos (Kanner, 1994). El origen del WOF está directamente asociado con la oxidación lipídica, proceso que se acelera de manera significativa después de la cocción. Durante la aplicación de calor, las hemoproteínas se desnaturalizan y liberan hierro no hemo, que actúa como un potente catalizador de las reacciones de oxidación de ácidos grasos poliinsaturados (Estévez,

2011). Este hierro libre, junto con la desestabilización de membranas lipídicas provocada por el calor, favorece la formación de radicales libres y de productos secundarios de oxidación, como aldehídos, cetonas y alcoholes volátiles (Domínguez et al., 2019; Huang & Ahn, 2019). Entre los compuestos responsables del WOF destacan el hexanal, pentanal, heptanal y el malonaldehído (MDA), los cuales se generan principalmente a partir de la oxidación de ácidos grasos como el linoleico y linolénico (Domínguez et al., 2019). Estos compuestos presentan umbrales sensoriales bajos, por lo que incluso pequeñas concentraciones son suficientes para provocar percepciones negativas en el aroma y sabor de la carne cocida almacenada.

La medición instrumental más empleada para cuantificar este deterioro es la prueba de TBARS, que estima la concentración de MDA y otros aldehídos reactivos. Estudios realizados en carne molida de res han demostrado que incrementos en los valores de TBARS se correlacionan fuertemente con la aparición de WOF y la pérdida de aceptabilidad sensorial (Kim et al., 2013). En este sentido, el uso de antioxidantes naturales, especialmente extractos vegetales ricos en polifenoles, ha mostrado eficacia para retrasar el WOF mediante diversos mecanismos: donación de hidrógeno, quelación de metales, interrupción de la propagación de radicales libres y estabilización de estructuras lipídicas (Pateiro et al., 2021; Bellucci et al., 2022). De esta manera, la incorporación de estos compuestos en matrices cárnicas cocidas favorece la disminución de la formación de aldehídos volátiles y, en consecuencia, a preservar el perfil sensorial durante el almacenamiento refrigerado.

2.4 Sistema de color CIELAB y su aplicación en productos cárnicos.

El sistema de color CIELAB, desarrollado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), es uno de los modelos más empleados para la evaluación instrumental del color en alimentos, debido a su alta precisión, reproducibilidad y su correlación con la percepción visual humana. Este espacio tridimensional se compone de tres coordenadas ortogonales: L^* , que representa la luminosidad; a^* , que refleja el eje rojo-verde; y b^* , que describe el eje amarillo-azul. Gracias a su estructura relativamente uniforme, distancias similares en este espacio tienden a corresponder con cambios perceptuales semejantes, por lo que continúa siendo el estándar de medición del color en alimentos (Kutlu et al., 2022).

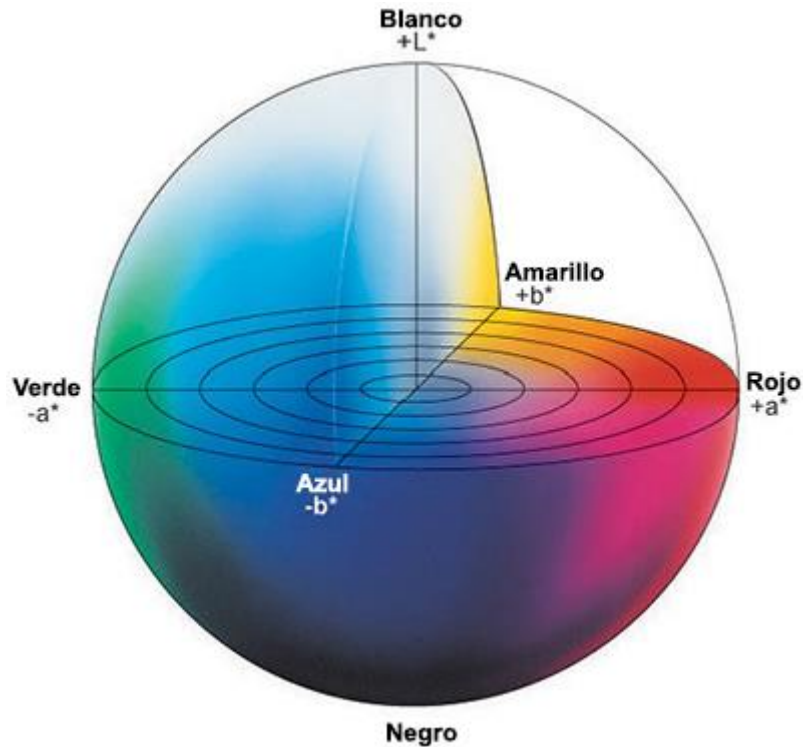


Figura 3: El Espacio de Color CIE $L^*a^*b^*$.

En productos cárnicos, el parámetro a^* es de especial relevancia, ya que refleja la relación entre oximioglobina (rojo brillante) y metamioglobina (marrón), pigmentos cuya proporción determina la aceptabilidad visual del producto. La disminución de a^* se ha asociado consistentemente con la oxidación del pigmento cárnico y con la formación de metamioglobina durante el almacenamiento, fenómeno ampliamente documentado en estudios sobre estabilidad del color en carne (Mancini & Hunt, 2005). El sistema CIELAB también permite evaluar el impacto de antioxidantes y tecnologías de procesamiento sobre la estabilidad del color. Investigaciones recientes han demostrado que extractos naturales o tecnologías no térmicas, como la ultrasonificación, pueden retardar la disminución de a^* , protegiendo la oximioglobina frente a procesos oxidativos y manteniendo valores más estables de L^* , a^* y b^* .

Por otro lado, la variación total del color (ΔE^*), calculada a partir de los cambios en L^* , a^* y b^* , es una herramienta ampliamente utilizada para cuantificar diferencias perceptibles en el color de alimentos. No obstante, el umbral perceptible varía según el tipo de producto y el consumidor. En carne de cerdo fresca, se ha observado que diferencias de $\Delta E \approx 1$ pueden ser detectadas por consumidores. En este sentido, Altmann et al. (2022) evaluaron la relación entre los valores instrumentales de ΔE^* y la percepción visual de los consumidores

en lomo de cerdo crudo, observando que un valor de $\Delta E \approx 6.2$ corresponde a una probabilidad de detección del 50 % por parte de los evaluadores.

2.5 Uso de antioxidantes en carne.

2.5.1 Antioxidantes sintéticos.

Los antioxidantes sintéticos, como el butilhidroxianisol (BHA), el butilhidroxitolueno (BHT) y la tert-butilhidroquinona (TBHQ), se han empleado de manera extensiva en la industria alimentaria por su capacidad para inhibir la oxidación lipídica y preservar la estabilidad del color en productos cárnicos. Estos compuestos actúan interrumpiendo la propagación de radicales libres, lo que retrasa la formación de hidroperóxidos y otros productos secundarios responsables del deterioro oxidativo (Antończyk et al., 2023; Esazadeh et al., 2024).

En carne de res refrigerada, se ha demostrado que el uso de BHT reduce significativamente la acumulación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), mantiene un color más estable y disminuye el crecimiento microbiano en comparación con muestras sin tratamiento antioxidante, confirmando su eficacia en la conservación de la calidad durante el almacenamiento en frío (Shahiduzzaman et al., 2024). No obstante, su inocuidad a largo plazo continúa siendo motivo de preocupación. En este sentido, se ha documentado que la exposición elevada a BHA, BHT y TBHQ puede inducir efectos citotóxicos y genotóxicos en modelos animales (Esazadeh et al., 2024). Asimismo, investigaciones recientes han señalado que estos compuestos pueden alterar la biodisponibilidad de lípidos y modificar el metabolismo de triglicéridos y lipoproteínas, lo cual podría tener implicaciones negativas para la salud humana (Antończyk et al., 2023).

2.5.2 Antioxidantes naturales.

El empleo de antioxidantes naturales en carne ha sido ampliamente explorado como una estrategia para sustituir a los compuestos sintéticos y responder a la demanda de consumidores por ingredientes más seguros y funcionales. Estos extractos vegetales contienen compuestos fenólicos, flavonoides y antocianinas que interfieren en las reacciones de radicales libres y limita la peroxidación lipídica y proteica en matrices cárnicas (Lorenzo et al., 2018).

Dentro de este grupo, diversos frutos y subproductos agroindustriales han mostrado resultados prometedores en carne de res y cerdo. En este sentido, los extractos de bayas como la grosella negra (*Ribes nigrum*) han demostrado una fuerte actividad antioxidante,

disminuyendo la oxidación de lípidos y proteínas en carne para hamburguesa de cerdo durante el almacenamiento en refrigeración; además de contribuir a mantener las características sensoriales del producto (Jia et al., 2012). Estos resultados respaldan el uso de frutos ricos en antocianinas como agentes protectores en carnes frescas. Asimismo, autores como Zafra-Ciprián et al. (2023) encontraron que el extracto etanólico de cáscara de mango Ataulfo redujo de forma significativa los valores de TBARS en carne molida y mantuvo una mayor estabilidad del color rojo durante el almacenamiento en refrigeración, con un efecto comparable al ácido ascórbico y sin afectar la aceptación sensorial (Zafra Ciprián et al., 2023). Estos hallazgos sugieren que el aprovechamiento de residuos frutales no solo mejora la conservación de la carne, sino que también agrega valor a la cadena agroindustrial.

Teniendo en cuenta lo anterior, el guamúchil destaca por su alto contenido de fenoles totales, flavonoides y capacidad antioxidante. Revisiones recientes señalan que este perfil bioactivo lo convierte en un candidato con potencial aplicación en matrices cárnicas para retrasar procesos de oxidación, aunque su aprovechamiento tecnológico requiere estudios más profundos sobre métodos de extracción y concentraciones óptimas (Vargas-Madriz et al., 2020).

2.5.2.1 Estructura química de polifenoles.

Los polifenoles son compuestos naturales sintetizados exclusivamente por las plantas, cuya estructura se caracteriza por la presencia de uno o varios anillos fenólicos. Estos metabolitos secundarios desempeñan funciones esenciales en los vegetales, como la protección frente a la radiación ultravioleta, la defensa contra microorganismos y herbívoros, además de la atracción de polinizadores (Bertelli et al., 2021; Quiñones et al., 2012). Desde el punto de vista estructural, los polifenoles se dividen en dos grandes grupos: flavonoides y no flavonoides. Los flavonoides presentan un esqueleto básico C₆-C₃-C₆, constituido por dos anillos aromáticos unidos por un heterociclo oxigenado. Variaciones en el patrón de hidroxilación y glicosilación de sus anillos dan lugar a subclases como flavonoles, flavonas, flavanonas, isoflavonas, flavanoles y antocianinas, las cuales difieren en su actividad antioxidante (Bertelli et al., 2021; Quiñones et al., 2012). Por su parte, los compuestos no flavonoides comprenden principalmente ácidos fenólicos, lignanos y estilbenos.

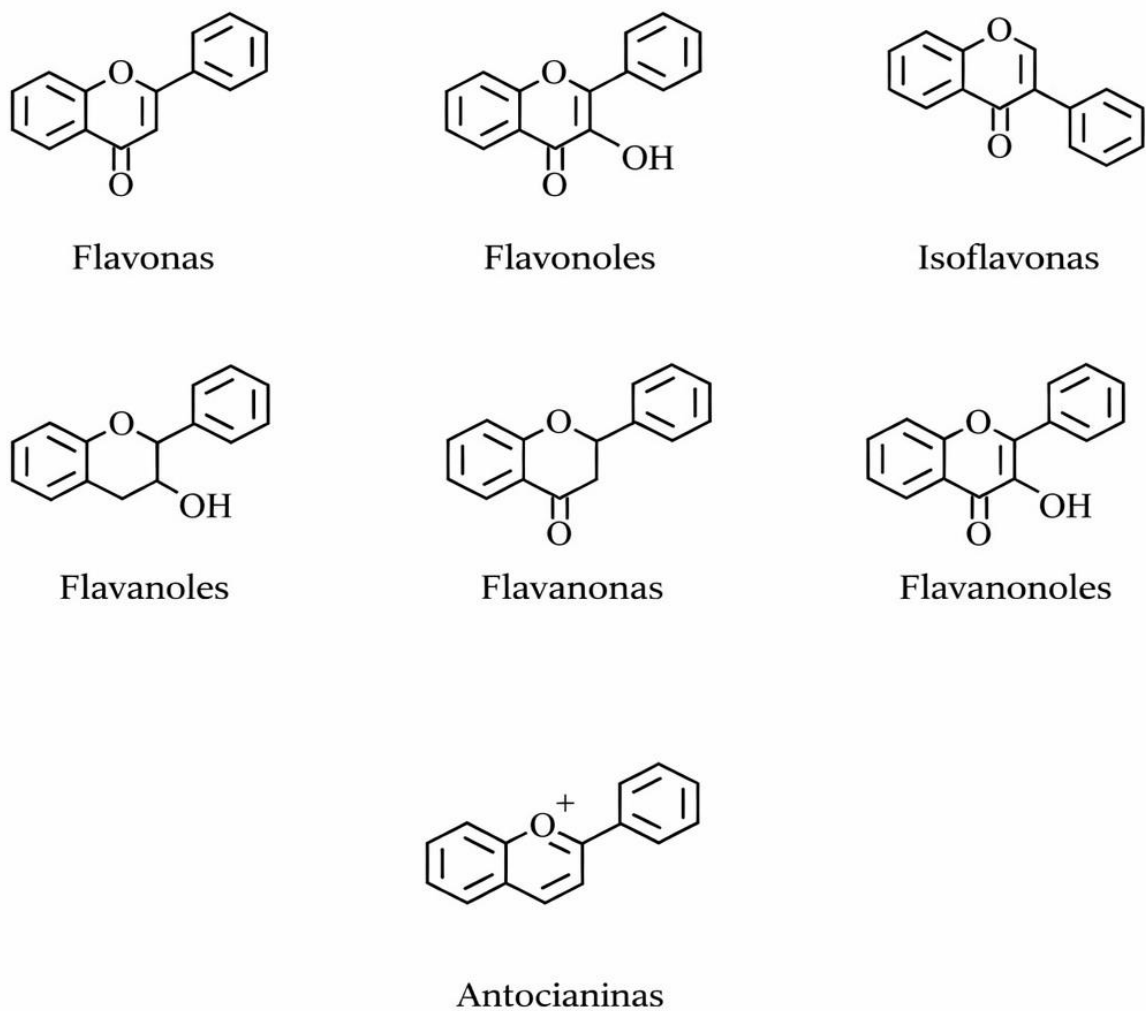


Figura 4: Estructura básica de las principales subclases diferentes de flavonoides (Bertelli et al., 2021).

2.5.2.2 Mecanismos de acción.

Los polifenoles presentes en plantas ejercen su efecto antioxidante en productos cárnicos mediante múltiples mecanismos que contribuyen a preservar la calidad sensorial y nutricional. De acuerdo con Waqar et al. (2025), los polifenoles pueden interrumpir la cadena de oxidación lipídica al donar átomos de hidrógeno o electrones a los radicales libres, neutralizándolos y evitando la formación de productos de oxidación dañinos. De

manera complementaria, Zhu et al. (2024) destacan que los polifenoles pueden regenerar antioxidantes endógenos, como las vitaminas C y E y el glutatión, devolviéndoles su forma activa y reforzando el sistema antioxidante natural de la carne.

Además, ambos estudios coinciden en que los polifenoles pueden quelar iones metálicos de transición como Fe^{2+} y Cu^{2+} , limitando la formación de radicales hidroxilo y retardando la peroxidación lipídica. Esta acción es crucial en carnes con alto contenido de hierro, como la carne de res, en la cual la oxidación suele ser rápida durante almacenamiento y exposición al oxígeno. También se ha reportado que los polifenoles inhiben enzimas oxidativas como lipoxigenasa y peroxidasa, protegiendo lípidos y pigmentos de la carne y preservando el color y la textura durante el almacenamiento (Zhu et al., 2024). De esta manera, estos mecanismos permiten que los polifenoles actúen como agentes protectores en carne de res y otros productos cárnicos, retrasando la oxidación lipídica, estabilizando los pigmentos y manteniendo las propiedades sensoriales y nutricionales (Waqar et al., 2025; Zhu et al., 2024).

2.5.2.3 Beneficios a la salud.

El consumo de polifenoles en la dieta ha sido relacionado con diversos efectos positivos sobre la salud, principalmente por su capacidad de modular procesos oxidativos e inflamatorios. Se ha descrito que los polifenoles contribuyen a la reducción del riesgo cardiovascular al mejorar el perfil lipídico, disminuir la presión arterial y ejercer efectos vasodilatadores (Quiñones et al., 2012). Además, algunos compuestos fenólicos pueden modular la resistencia a la insulina, lo que los convierte en aliados potenciales en la prevención de la diabetes (Quiñones et al., 2012). Igualmente, estos biocompuestos también ejercen un papel importante en la regulación de la inflamación crónica. Se ha observado que pueden reducir la expresión de mediadores proinflamatorios y neutralizar especies reactivas de oxígeno, contribuyendo así a la protección de tejidos frente al daño celular y a la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles (Sun et al., 2024). Así, la incorporación de extractos (ricos en polifenoles) en productos cárnicos no solo podría mejorar su estabilidad, sino que también puede aumentar su valor funcional.

3 ESTADO DEL ARTE.

Se han desarrollado diversas investigaciones en torno al guamúchil (*Pithecellobium dulce*), principalmente enfocadas en la caracterización de sus compuestos bioactivos y propiedades nutraceuticas. Pío-León et al. (2013) demostraron que los arilos presentan un alto contenido de vitamina C (79.7–82.6 mg/100 g de peso fresco), fibra dietaria (5.83–6.12 %) y, en el caso de los arilos rojos, una concentración significativa de antocianinas (29.5 mg/100 g), además de mayores niveles de fenoles totales y actividad antioxidante en comparación con los arilos blancos. En un análisis complementario, Vargas-Madriz et al. (2020) identificaron en el fruto flavonoides como quercetina y kaempferol, así como ácidos fenólicos (gálico, cafeico y clorogénico), responsables de su potencial antioxidante. Estos hallazgos coinciden con lo señalado por Wall-Medrano et al. (2016), quienes resaltaron el valor nutraceutico del guamúchil y lo propusieron como fuente natural de antioxidantes en la dieta.

Así mismo, Alfonso-Acosta et al. (2023) reportaron que la pulpa de guamúchil es rica en fibra, proteínas y minerales esenciales como calcio, fósforo, potasio y hierro, lo que amplía su relevancia nutricional. De igual manera, investigaciones recientes han puesto atención en las semillas. Flores-Jiménez et al. (2024) analizaron harina desgrasada de semillas de guamúchil, encontrando un 33.18 % de proteína y propiedades funcionales como emulsificación y digestibilidad *in vitro*, lo que sugiere posibles aplicaciones en alimentos procesados. En línea con estos resultados, Rao (2013) determinó que la harina de semilla contiene alrededor de un 39.22 % de proteína, además de minerales como calcio (48 mg/100 g) y fósforo (542 mg/100 g), junto con actividad antioxidante comprobada en ensayos *in vitro*.

Aunque la mayoría de los estudios disponibles se centran en la caracterización química y nutricional del fruto, hasta ahora no se han encontrado reportes sobre la aplicación directa de extractos de guamúchil en matrices cárnicas como carne molida. No obstante, la evidencia fitoquímica y funcional previamente descrita sugiere que los extractos de arilo podrían ser utilizados como antioxidantes naturales en la industria cárnica, ofreciendo una alternativa viable a compuestos sintéticos como BHT y BHA, además de contribuir al aprovechamiento de un recurso local con valor nutricional, económico y social.

4 JUSTIFICACIÓN.

En la actualidad, existe una creciente preocupación por el uso de aditivos sintéticos en la industria alimentaria, particularmente en los productos cárnicos, debido a los posibles efectos adversos para la salud que pueden generar a largo plazo. En respuesta a esta situación, ha surgido una tendencia por parte de la industria y del sector científico hacia la búsqueda de compuestos naturales que puedan desempeñar funciones similares, como es el caso de los antioxidantes extraídos de frutas y plantas.

A pesar de que estudios recientes han demostrado que el fruto de guamúchil (*Pithecellobium dulce*), posee una composición con potencial antioxidante, éste ha sido tradicionalmente subvalorado en aplicaciones industriales. En este sentido, su aplicación en productos cárnicos no ha sido explorada, lo que representa una oportunidad tanto científica como tecnológica.

Por lo tanto, esta investigación propone utilizar extractos del arilo del fruto de guamúchil como posible antioxidante natural en carne molida de res cruda y cocida, evaluando su efecto sobre la estabilidad oxidativa y las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los productos. La generación de este conocimiento no solo contribuirá al aprovechamiento de un recurso regional con valor funcional, sino que también responderá a la demanda actual de alimentos más saludables y sostenibles. Además, podría sentar las bases para futuras aplicaciones industriales del guamúchil como ingrediente funcional en alimentos cárnicos.

5 HIPÓTESIS.

El extracto del arilo del fruto de guamúchil (*Pithecellobium dulce*), por su contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, disminuirá la oxidación lipídica y mejora la estabilidad fisicoquímica de la carne procesada de bovino.

6 OBJETIVOS.

6.1 Objetivo general.

Evaluar el efecto del extracto del arilo del fruto de guamúchil (*Pithecellobium dulce*) sobre las propiedades fisicoquímicas, la oxidación lipídica y la aceptación sensorial en carne molida de bovino cruda y cocida almacenada en refrigeración durante 8 días.

6.2 Objetivos específicos.

- I. Determinar el contenido de polifenoles totales y la capacidad antioxidante, de extractos de arilo de guamúchil rojo, blanco y la mezcla de ambos, mediante técnicas espectrofotométricas (DPPH• y CUPRAC).
- II. Aplicar extractos de arilo de guamúchil en carne molida de bovino y evaluar su efecto sobre el pH, color instrumental, contenido de metamioglobina y la oxidación lipídica (TBARS), durante el almacenamiento en refrigeración.
- III. Realizar un análisis sensorial de la carne molida cocida evaluando tres tratamientos CTL (carne sin extracto), GR (carne con extracto de guamúchil rojo) y ASC (carne con ascorbato de sodio) mediante una prueba afectiva (escala hedónica) con jueces no entrenados.

7 MATERIAL Y MÉTODOS.

7.1 Obtención de la materia prima, análisis proximal.

7.1.1 Obtención de materia prima.

La materia prima utilizada fue el arilo del fruto de guamúchil (*Pithecellobium dulce*) blanco y rojo. Los frutos fueron adquiridos en los mercados locales de Acatlán de Osorio, Puebla, y de Huajuapán de León, Oaxaca, ambos situados en la región de la Mixteca. Estas localidades se seleccionaron por su relevancia en la producción y comercialización del fruto, así como por la disponibilidad y calidad durante la temporada de cosecha. Los frutos fueron transportados a la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM) en recipientes limpios y ventilados, asegurando condiciones adecuadas para preservar su calidad y frescura hasta su procesamiento.



Figura 5: Arilo rojo



Figura 6: Arilo blanco.

7.1.2 Acondicionamiento de materia prima.

El acondicionamiento del arilo de guamúchil se realizó en el Taller de Alimentos de la UTM. Para la desinfección, los frutos se sumergieron en una solución de cloro al 1 % durante 5 minutos (Alfonso-Acosta et al., 2023). Posteriormente, el exceso de humedad se eliminó utilizando un escurridor convencional. Los arilos desinfectados fueron secados en un horno de convección (Pro Smoker, Wisconsin, USA) a 45 °C hasta alcanzar peso constante. Una vez secos, los arilos se molieron de forma individual (variedad roja y blanca) utilizando un procesador de alimentos (KitchenAid, China) hasta obtener un polvo fino. Para estandarizar el tamaño de partícula, el material molido se tamizó con una malla 40 (Montinox, México) Las fracciones obtenidas se envasaron al vacío por separado y se almacenaron a 4 °C en oscuridad. Finalmente, se preparó una mezcla 1:1 (rojo:blanco), la cual también se empacó al vacío y se almacenó bajo las mismas condiciones

7.1.3 Análisis proximal del arilo de guamúchil.

7.1.3.1 Determinación del contenido de humedad.

El contenido de humedad se determinó mediante el método gravimétrico oficial AOAC 930.15. Se pesó 5 g de muestra homogeneizada en cápsulas de porcelana previamente taradas y llevadas a peso constante. Las cápsulas se colocaron en una estufa a 105 °C durante 2–3 h. Posteriormente, se enfriaron en un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente y se volvieron a pesar. Todos los análisis se realizaron por triplicado. El contenido de materia seca (MS) se calculó usando la ecuación:

$$MS = [\textit{peso de la muestra seca (g)} / \textit{peso de la muestra húmeda (g)}] \times 100$$
$$\% H = 100 - \% MS$$

7.1.3.2 Determinación del contenido de cenizas.

El contenido de cenizas se determinó siguiendo el método AOAC 923.03. Se pesó 2 g de muestra en crisoles previamente tarados y se incineraron en una mufla a 550 °C durante 12 h, o hasta obtener cenizas blanco-grisáceas. Posteriormente, los crisoles se colocaron en una estufa a 105 °C durante 1 h, se enfriaron en desecador y se pesaron hasta alcanzar peso constante. El análisis se realizó por triplicado. El porcentaje de cenizas se calculó con la ecuación:

$$\% \textit{ cenizas} = [\textit{peso de las cenizas (g)} / \textit{peso de la muestra fresca o seca (g)}] \times 100$$

7.1.3.3 Determinación del contenido de grasa.

El contenido de grasa cruda se determinó mediante extracción Soxhlet, siguiendo el método AOAC 920.39. Se pesó 2.5 g de muestra seca envuelta en papel filtro previamente tarado. La extracción se realizó en un equipo Soxhlet utilizando 150 mL de éter de petróleo como disolvente durante 2.5 h. Al finalizar la extracción, el disolvente se evaporó en un matraz bola y el residuo graso se secó en estufa a 105 °C hasta alcanzar peso constante. El análisis se efectuó por triplicado para cada tratamiento. El porcentaje de grasa se calculó como:

$$\%Grasa = \frac{\text{Peso de la muestra (g)}}{\text{Peso del extracto graso (g)}} \times 100$$

7.1.3.4 Determinación del contenido de proteína.

El contenido de proteína se determinó mediante el método micro-Kjeldahl (AOAC 976.05). Para ello, se pesó 0.15 g de muestra seca en un matraz de digestión y se adicionaron 0.04 g de sulfato de cobre pentahidratado, 1.3 g de sulfato de potasio y 2.5 mL de ácido sulfúrico concentrado. La mezcla se llevó a digestión hasta que la solución se tornó clara, manteniéndose en ebullición suave durante 30 minutos adicionales. Después, se dejó enfriar a 25 °C, se agregó 5 mL de agua destilada y se realizó la destilación, añadiendo 10 mL de NaOH al 50 %. El amoníaco liberado se capturó en un matraz Erlenmeyer con 10 mL de ácido bórico al 4 % y unas gotas de indicador mixto. El destilado se tituló con HCl 0.1 N hasta alcanzar el punto final. El porcentaje de proteína se calculó mediante las ecuaciones:

$$\% N \text{ base seca} = (V \text{ HCl} \times N \text{ HCl} \times 14 \times 100) / \text{peso muestra (g)}$$

$$\% N \text{ base húmeda} = \% N \text{ base seca} \times (\% MS / 100)$$

$$\% \text{ Proteína} = \% N \text{ base húmeda} \times 6.25$$

En donde:

V HCL = Volumen de ácido corregido = (mL del ácido estandarizado para la muestra) - (mL del ácido estandarizado para el blanco)

N HCL = Normalidad de HCL/1000 mL

14 = Peso atómico del nitrógeno

6.25= Factor de conversión general

7.1.3.5 Determinación del contenido de fibra.

El contenido de fibra cruda se determinó siguiendo el método AOAC 978.10, mediante digestiones ácida y alcalina. Se pesó 2.5 g de muestra seca y se colocaron en un matraz de digestión. Se añadió 200 mL de ácido sulfúrico al 1.25 % y se llevó la mezcla a ebullición suave durante 30 minutos, utilizando perlas de ebullición para evitar sobrepresión. El contenido se filtró en un embudo Büchner con papel libre de cenizas y el residuo se enjuagó con agua caliente. Posteriormente, el residuo se transfirió de nuevo al matraz y se añadió 200 mL de NaOH al 1.25 %, repitiendo la digestión durante 30 minutos. Tras el proceso, el material se filtró nuevamente y se realizaron lavados sucesivos con agua caliente, HCl al 1 %, agua, dos lavados con alcohol y tres con acetona. El papel filtro con el residuo se colocó en un crisol de porcelana previamente tarado, se secó en estufa a 100 °C hasta peso constante y posteriormente se incineró en mufla a 550 °C durante 1 h. Finalmente, el crisol se enfrió en desecador y se pesó. El porcentaje de fibra se determinó mediante:

$$\% \text{ Fibra cruda} = [(W_2 - W_3) / W_1] \times 100$$

En donde:

W_1 = peso de la muestra inicial (g)

W_2 = peso del residuo insoluble (g)

W_3 = peso de las cenizas (g)

7.2 Preparación de los extractos del arilo de guamúchil.

Para la obtención de los extractos del arilo de guamúchil, se trabajó con las tres muestras previamente acondicionadas (en polvo): guamúchil rojo, guamúchil blanco y la mezcla 1:1 de ambos. El procedimiento se realizó con base en la metodología descrita por López-Angulo et al. (2018), aplicando algunas modificaciones para su adaptación a este estudio. De cada tratamiento se pesaron 15 g de polvo, los cuales se mezclaron con 75 mL de etanol grado alimenticio (Ferandelh, México) y se sometieron a agitación constante durante 4 horas a temperatura ambiente. Posteriormente, las muestras fueron centrifugadas (Centrífuga 5804R, Eppendorf, Alemania) a 10,000 rpm durante 5 minutos a 4 °C, y el sobrenadante obtenido se filtró. A continuación, se llevó a cabo una segunda extracción utilizando 50 mL de etanol, bajo las mismas condiciones de agitación, centrifugación y

filtrado descritas previamente. Los sobrenadantes de ambas extracciones se combinaron y se concentraron mediante un rotavapor (Yamato RE300, Japón) a 40 °C hasta eliminar el solvente. De este modo, se obtuvieron los extractos concentrados correspondientes a guamúchil rojo (GR), guamúchil blanco (GB) y mezcla de guamúchil rojo y blanco (1:1) GM, que fueron utilizados en los análisis posteriores.

7.3 Caracterización *in vitro* de los extractos de guamúchil.

7.3.1 Contenido de polifenoles totales.

La determinación del contenido de polifenoles totales en los extractos del arilo de guamúchil (GB, GR y GM) se realizó utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu, siguiendo la metodología descrita por Agbor et al. (2014). Para este análisis, se preparó una disolución acuosa del reactivo de Folin-Ciocalteu en una proporción 1:1, así como una disolución de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 7%. La curva de calibración se construyó utilizando una solución madre de ácido gálico (AG) a una concentración de 8.82×10^{-3} M, de la cual se realizaron diluciones sucesivas para obtener diferentes concentraciones: 1.5, 0.75, 0.375, 0.1875, 0.0938, 0.0469, 0.0234, 0.0117, 0.0059 y 0.0029 mg/mL. Se adicionaron 10 μL de cada dilución de AG en una microplaca de 96 pocillos, seguido de 50 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu. La mezcla se dejó reaccionar durante 5 minutos en ausencia de luz. Posteriormente, se agregaron 200 μL de la disolución de Na_2CO_3 al 7%, permitiendo que la reacción continuara durante un total de 30 minutos a partir de la adición del reactivo de Folin-Ciocalteu. La absorbancia de las muestras se midió a 750 nm utilizando un lector de microplaca (Thermo Scientific MultiSkan FC, China). La determinación del contenido de compuestos fenólicos totales en los extractos de guamúchil se llevó a cabo siguiendo el mismo procedimiento utilizado para la curva de calibración con ácido gálico. En este caso, en lugar de emplear soluciones estándar durante la reacción, se utilizaron alícuotas de los extractos correspondientes (GR, GB y GM). Los datos se expresaron como miligramos de equivalentes del extracto del guamúchil sobre miligramos de ácido gálico.

7.3.2 Capacidad antioxidante por el método de DPPH•.

La actividad antioxidante de los extractos del arilo de guamúchil (GB, GR y GM) se evaluó mediante el ensayo de DPPH•, siguiendo el método descrito por Clarke et al. (2013), con algunas modificaciones. Se preparó una solución de DPPH• a una concentración de 5×10^{-5} M, en metanol al 80%. Para la curva de calibración, se elaboró una solución madre de ácido gálico (AG) a una concentración de 2.94×10^{-1} M. A partir de esta solución madre, se realizaron diluciones sucesivas para obtener las siguientes concentraciones: 1.5, 0.75,

0.375, 0.1875, 0.0938, 0.0469, 0.0234, 0.0117, 0.0059 y 0.0029 mg/mL. En una microplaca de 96 pocillos, se adicionaron 20 μ L de cada una de las soluciones de AG a las diferentes concentraciones, seguidos de 180 μ L de la solución de DPPH•. Las mezclas fueron incubadas durante 20 minutos en ausencia de luz, para evitar la degradación del radical DPPH•. Posteriormente, se midió la absorbancia de las mezclas resultantes a 540 nm y 750 nm utilizando un lector de microplacas (Thermo Scientific MultiSkan FC, China). Para la determinación de la actividad antioxidante de los extractos obtenidos del fruto de guamúchil, se sustituyó el ácido gálico por el extracto correspondiente, siguiendo el mismo procedimiento.

El porcentaje de inhibición del radical DPPH• se calculó mediante la fórmula:

$$\text{Inhibición (\%)} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{muestra}}) / A_{\text{control}}] \times 100$$

Donde:

A control fue la absorbancia del blanco (540 - 750) nm

Amuestra fue la absorbancia (540 - 750) nm

El valor de IC₅₀ (concentración necesaria para inhibir el 50 % del radical DPPH•) se determinó a partir de la curva de inhibición, graficando el porcentaje de inhibición en función de la concentración del extracto. El IC₅₀ se obtuvo mediante interpolación lineal de la ecuación de la recta en el punto correspondiente al 50 % de inhibición. Los resultados se expresaron como (mg de extracto/ mL), donde valores menores de IC₅₀ indican una mayor capacidad antioxidante.

7.3.3 Capacidad antioxidante por el método de CUPRAC.

La capacidad antioxidante de los extractos del arilo de guamúchil (GB, GR y GM) se evaluó utilizando el método CUPRAC (Capacidad Antioxidante Reduciendo Cobre), descrito por Apak et al. (2010). Para ello, se prepararon tres soluciones: una solución de cloruro de cobre (CuCl₂) a una concentración de 1.0×10^{-2} M, una solución tampón de acetato de amonio (CH₃COONH₄) 1.0 M elaborada disolviendo 1.9270 g del compuesto en 25 mL de agua destilada y una solución de neocuproína a 7.5×10^{-3} M en etanol al 96 %. Para la curva de calibración, se preparó una solución madre de ácido gálico (AG) 2.93×10^{-4} M, realizando diluciones sucesivas para obtener concentraciones finales de 0.05, 0.025, 0.0125, 0.00625, 0.003125 y 0.0015625 mg/mL. Posteriormente, en una microplaca de 96 pocillos, se añadieron 50 μ L de la solución de CuCl₂, 50 μ L de la solución de neocuproína,

50 μL de la solución tampón de AcONH_4 , y finalmente, 75 μL de cada una de las soluciones de AG en las concentraciones mencionadas. Las mezclas fueron incubadas, y la absorbancia fue medida a 450 nm en un lector de microplacas (Thermo Scientific MultiSkan FC, China). Para determinar la capacidad antioxidante de los extractos obtenidos del fruto de guamúchil, se sustituyó el AG por los extractos correspondientes, repitiendo el mismo procedimiento experimental. La capacidad antioxidante se expresó como el cociente entre la pendiente obtenida para cada extracto y la pendiente de la curva de calibración del ácido gálico, permitiendo así su comparación en términos de equivalentes de ácido gálico (AG).

7.4 Incorporación de los extractos del arilo de guamúchil en la matriz cárnica.

Para la presente investigación, se utilizó el aguayón (corte de carne de bovino proveniente de la región de la cadera), el cual fue adquirido en una carnicería localizada en el municipio de Huajuapán de León, Oaxaca. Dicho corte se procesó en molino para carne (Sunmile, China) en el Taller de Procesamiento de Alimentos. A partir de la carne molida obtenida se elaboraron dos tipos de productos: carne molida, que fue evaluada tanto en su estado crudo como cocido, y carne para hamburguesas, que fue analizada en condiciones de congelación y posterior cocción. Para ello, se consideraron cinco tratamientos: control negativo (CTL, sin antioxidantes), control positivo (ASC, solución de ascorbato de sodio a 100 mg/kg de carne), carne adicionada con extracto de guamúchil rojo (GR), carne con extracto de guamúchil blanco (GB) y carne con una mezcla de ambos extractos (GM). Los extractos fueron incorporados a una concentración de 3 g/kg de carne, los cuales fueron previamente disueltos en 10 mL de agua destilada. La misma cantidad de agua fue agregada al control negativo para asegurar una proporción de humedad uniforme en todos los tratamientos. Posteriormente, la carne con el agua, extractos y el antioxidante se mezcló con una batidora (KitchenAid, St. Joseph, MI, USA) durante 3 minutos para garantizar una distribución homogénea. Se formaron porciones de carne de 90 g destinadas al análisis en estado crudo y porciones de 30 g para los análisis que se sometieron a un proceso de cocción. Las muestras cocidas se trataron térmicamente en un horno de convección hasta alcanzar una temperatura interna de 72 ± 1 °C. Una vez preparadas, todas las muestras se empacaron en bandejas de poliestireno expandido, recubiertas con película plástica de cloruro de polivinilo (PVC) permeable al aire, y debidamente etiquetadas para su identificación. Los tratamientos se almacenaron en refrigeración (4 ± 1 °C) durante ocho días. Las evaluaciones fisicoquímicas se llevaron a cabo en los días 1, 3, 6 y 8 para las muestras crudas, y los días 1, 3 y 6 para las muestras cocidas. En el caso de la carne cruda,

se determinó el pH, el color instrumental, el contenido de metamioglobina y la oxidación lipídica mediante el método de TBARS. Para la carne cocida, se evaluó el pH y la oxidación lipídica (TBARS), con el fin de analizar los posibles cambios asociados al tratamiento térmico y su repercusión en la estabilidad oxidativa durante el almacenamiento.

Para el análisis sensorial, la carne de bovino se molió utilizando un molino (Sunmile, China). A partir de la carne molida, se elaboraron tres tratamientos, asegurando que en todos los casos se añadieran 10 mL de agua potable por kilogramo de carne. El tratamiento control negativo (CTL) consistió únicamente en la adición de agua. El tratamiento control positivo (ASC) se formuló incorporando ascorbato de sodio a una concentración de 100 mg/kg de carne, disuelto en el volumen de agua establecido. Finalmente, el tratamiento con extracto de guamúchil rojo (GR) se preparó añadiendo 3 g de extracto por kilogramo de carne, igualmente disueltos en el mismo volumen de agua.

Posteriormente, las muestras se cocinaron en un horno de convección hasta alcanzar una temperatura interna de 72 ± 1 °C. Una vez cocidas, se almacenaron en refrigeración a 4 °C durante 76 horas, para posteriormente llevar a cabo el análisis sensorial.

7.4.1 Análisis proximal de la carne.

7.4.1.1 Determinación del contenido de humedad/ materia seca.

La determinación del contenido de humedad se llevó a cabo conforme al método AOAC 950.46, siguiendo el mismo procedimiento descrito en el apartado 7.1.3.1, con las adaptaciones necesarias para carne molida. Se pesó 10 g de muestra homogeneizada en cápsulas de porcelana (previamente taradas), los cuales se secaron en estufa a 105 °C durante 15–18 h, hasta alcanzar peso constante. Las determinaciones se realizaron por triplicado en carne cruda (día 1).

7.4.1.2 Determinación del contenido de cenizas.

El contenido de cenizas se determinó mediante el método AOAC 920.153, siguiendo el procedimiento general establecido en el apartado 7.1.3.2, con los ajustes correspondientes. Se emplearon 10 g de muestra húmeda, que se incineraron en una mufla a 550 °C

7.4.1.3 Determinación del contenido de grasa (método Soxhlet).

La grasa cruda se determinó mediante el método de extracción Soxhlet AOAC 991.36, siguiendo el procedimiento base descrito en el apartado 7.1.3.3. Se pesó 2 g de muestra seca, envuelta en papel de filtro previamente tarado, utilizando 150 mL de éter de petróleo como disolvente.

7.4.1.4 Determinación del contenido de proteína

El contenido de proteína se determinó por el método de micro-Kjeldahl AOAC 976.05, conforme al procedimiento indicado en el apartado 7.1.3.4, manteniendo las condiciones de digestión, destilación y titulación previamente descritas. Se utilizó 0.15 g de muestra seca, y el contenido proteico se calculó empleando el factor de conversión 6.25, correspondiente a productos cárnicos.

7.5 Determinaciones fisicoquímicas sobre la carne molida.

7.5.1 Determinación del pH.

La determinación del pH se realizó siguiendo la metodología descrita por Gómez-Cárdenas et al. (2013) con ligeras modificaciones. Se pesó 10 g de carne y se mezcló con 90 mL de agua clase tipo 1 en un homogeneizador (Ultraturrax IKA T18 digital, Alemania) a 9000 rpm durante 1 minuto. El pH de la mezcla se determinó utilizando un pHmetro digital previamente calibrado (OAKTON, Singapur).

7.5.2 Determinación de color instrumental.

La determinación del color en la carne molida se llevó a cabo mediante un colorímetro (Konica Minolta CR-5, Japón) utilizando el sistema de coordenadas CIELAB (L^* , a^* , b^*), el cual es ampliamente empleado para evaluar variaciones cromáticas en productos cárnicos. El equipo se calibró previamente con placa de referencia. Las mediciones se realizaron cinco veces, sobre las muestras de carne, para garantizar la precisión de los datos obtenidos. En la carne molida, las determinaciones se efectuaron en los días 1, 3, 6 y 8 de almacenamiento en refrigeración. Además de las coordenadas L^* , a^* y b^* , se calcularon dos atributos derivados: croma (C^*) y tono o ángulo hue (h°), los cuales permiten una caracterización más completa del color.

El croma (C^*), que describe la saturación o intensidad del color, se obtuvo mediante la ecuación:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

Mientras que el ángulo de tono (h°), que representa la tendencia del color hacia las tonalidades rojizas, amarillas o verdosas, se calculó como:

$$h^\circ = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

Asimismo, se estimó la diferencia total del color (ΔE^*) respecto al día 1 mediante:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L_t^* - L_1^*)^2 + (a_t^* - a_1^*)^2 + (b_t^* - b_1^*)^2}$$

donde L_1^* , a_1^* y b_1^* correspondieron a los valores iniciales del día 1, y L_t^* , a_t^* y b_t^* fueron los valores obtenidos en cada día de medición (días 3, 6 y 8 para carne molida). Este variable permitió determinar de manera objetiva la magnitud de los cambios perceptibles en el color de las muestras, siendo un indicador clave de su estabilidad visual durante la conservación (Hernández-Salueña et al., 2019).

7.5.3 Contenido de metamioglobina.

El contenido de metamioglobina (MetMb) se cuantificó con base en la metodología reportada por Trujillo-Santiago et al. (2021). Para ello, se pesaron 5 g de muestra y se mezclaron con 25 mL de buffer de fosfato 0.04 M (pH 6.8). La mezcla se homogenizó con Ultraturrax (IKA T18 digital, Alemania) a 9000 rpm durante 30 segundos. Posteriormente, se dejó en refrigeración durante una hora y se centrifugó a 9,000 rpm durante 20 minutos. El sobrenadante se filtró con papel Whatman No. 4 y se midió la absorbancia a 525, 545, 565 y 572 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Vis (HACH DR 5000, Alemania). El porcentaje de metamioglobina se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{MetMb} = [-2.51 \times (A_{572}/A_{525}) + 0.777 \times (A_{565}/A_{525}) + 0.8 \times (A_{545}/A_{525}) + 1.098] \times 100$$

7.5.4 Determinación de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS).

La oxidación lipídica se evaluó mediante la prueba de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS), siguiendo la metodología descrita por Villalobos-Delgado et al. (2017). Para la cuantificación del malondialdehído (MDA), se preparó previamente una curva estándar utilizando 1,1,3,3-tetraetoxipropano (TEP) como compuesto patrón, a partir del cual se generó malondialdehído por hidrólisis ácida. El TEP se pesó y se preparó una solución stock de 1000 mL, obteniendo una concentración de 0.338 mmol. A partir de esta solución, se realizó una dilución de trabajo y se elaboraron los estándares en un rango de 0.1 a 5 mL, equivalentes a concentraciones entre 0.000338 y 0.0169 μmol , con el fin de construir la curva estándar necesaria para determinar la concentración de MDA en las muestras. Posteriormente, se homogeneizaron 2 g de muestra de carne con 20 mL de agua destilada, utilizando un homogeneizador Ultraturrax (IKA T18 digital, Alemania) a 9000 rpm durante 1 minuto. Luego, se mezcló 1 mL del homogenizado con 30 μL de

butilhidroxitolueno (BHT) y 2 mL de una solución de ácido tiobarbitúrico (TBA) al 20 mM en ácido tricloroacético. La mezcla se agitó con un vortex (Ika, Alemania) durante 1 minuto y se incubó en un baño María a 80 °C durante 20 minutos. Después, se enfrió en un baño de hielo y se centrifugó (Eppendorf, Alemania) a 2,500 rpm durante 10 minutos a 4 ± 1 °C. Finalmente, se midió la absorbancia a 531 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Vis (HACH, Alemania). Los resultados se expresaron como mg de malondialdehído por kg de carne (mg MDA/kg).

7.6 Análisis sensorial.

La evaluación sensorial consistió en una prueba afectiva realizada mediante una escala hedónica de cinco puntos. Participaron un panel de 80 consumidores no entrenados, pertenecientes a la comunidad universitaria. Los participantes estuvieron de acuerdo sobre su participación voluntaria. Las muestras de carne se evaluaron en un espacio controlado bajo condiciones que favorecieron la concentración y minimizaron posibles sesgos. La prueba hedónica permitió evaluar el nivel de agrado considerando los siguientes atributos sensoriales: color, olor, sabor y aceptabilidad general. Para ello, se utilizó una escala hedónica estructurada de 5 puntos, donde el valor 5 correspondió a “me gusta mucho” y el valor 1 a “me disgusta mucho”. Cada participante asignó una calificación por atributo de acuerdo con su percepción, de modo que los resultados reflejaron el grado de aceptación global de los tratamientos. Se evaluaron tres tratamientos: control negativo (CTL, sin extracto), control positivo (ASC, solución de ascorbato de sodio a 100 mg/kg de carne) y carne adicionada con 3 g extracto de guamúchil rojo (GR) por kilogramo de carne. Las muestras se codificaron con números aleatorios de tres dígitos, y se sirvieron en platos blancos acompañados de agua natural para enjuagar el paladar entre degustaciones. El orden de presentación se cuidó siguiendo las recomendaciones de Meilgaard et al. (2016).

7.7 Análisis estadístico.

El análisis estadístico se realizó utilizando el software STATISTICA, versión 10. Se empleó un análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía para determinar la caracterización de la actividad antioxidante. Asimismo, para la carne molida (CTL, GB, GR, GM y ASC), se aplicó un ANOVA de una sola vía con el fin de evaluar el efecto de los tratamientos y los días de almacenamiento (1, 3, 6 y 8) sobre las variables analizadas. Las medias se compararon mediante la prueba de Duncan, considerando un nivel de significancia del 95% ($P < 0.05$).

8 RESULTADOS Y DISCUSION.

8.1 Caracterización del arilo de guamúchil.

8.1.1 Rendimiento.

El rendimiento del arilo de guamúchil (*Pithecellobium dulce*) se definió como la proporción de pulpa comestible (arilo) con respecto al peso total del fruto fresco, el cual incluye vaina, semillas y pulpa. En la Figura 7 se presentan los rendimientos obtenidos para los frutos de guamúchil blanco y rojo. El arilo blanco mostró un rendimiento promedio de 60.7%, mientras que el arilo rojo presentó 59.8%, valores que indican una proporción semejante de fracción comestible entre ambos tipos de fruto.

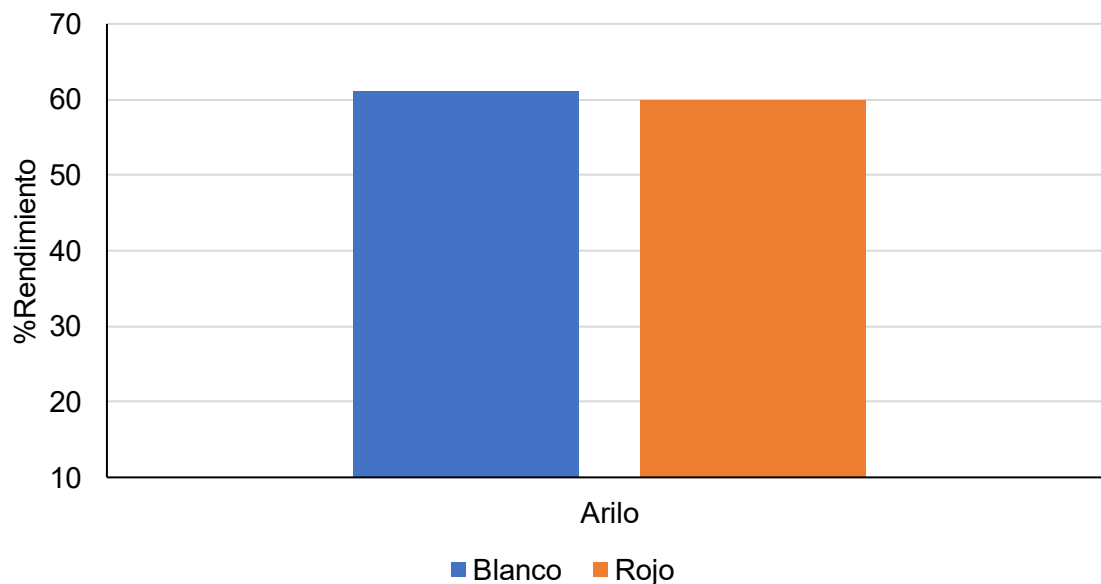


Figura 7: Rendimiento del arilo del guamúchil blanco y rojo.

Estos resultados concuerdan parcialmente con lo reportado por Alemán-Ramírez et al. (2024), quienes señalan que los frutos maduros del guamúchil presentan una proporción de pulpa (arilo) entre 65–75%, mientras que la semilla y la vaina representan entre 9–13% y 17–19%, respectivamente. Estas cifras confirman que el arilo constituye la fracción mayoritaria del fruto, en concordancia con los valores obtenidos en el presente estudio. Asimismo, Alfonso-Acosta et al. (2023) describieron que el arilo del guamúchil contiene una elevada proporción de humedad, lo cual coincide con las características observadas en este trabajo. Las ligeras variaciones entre el guamúchil blanco y rojo podrían estar relacionadas con diferencias fisiológicas del fruto o con el grosor del arilo. Desde el enfoque tecnológico,

un rendimiento cercano al 60 % de arilo fresco se considera adecuado, ya que permite disponer de una proporción suficiente de material comestible para la obtención de extractos naturales. Esto respalda el potencial del guamúchil como una materia prima viable para su aprovechamiento en estudios funcionales y aplicaciones alimentarias.

8.1.2 Composición proximal del fruto de guamúchil en polvo.

En la Tabla 1 se observa la composición proximal del polvo del arilo de guamúchil en sus colores blanco, rojo y su mezcla. Los resultados muestran que la humedad presentó un intervalo entre 18.1% y 21.8%, mientras que los contenidos de proteína, grasa, fibra bruta y cenizas oscilaron entre 8.2–10.7%, 0.72–0.87%, 4.6–5.2% y 2.4–2.9%, respectivamente.

Tabla 1 : Análisis proximal (base seca) del arilo de guamúchil blanco, rojo y mezcla.

	Arilo		
	Blanco	Rojo	Mezcla de arilos
Humedad (%)	18.1 ± 2.11 ^a	21.8 ± 1.05 ^a	19.3 ± 0.34 ^a
Proteína (%)	8.2 ± 0.68 ^b	10.7 ± 0.26 ^a	9.9 ± 0.14 ^a
Grasa (%)	0.87 ± 0.05 ^a	0.72 ± 0.02 ^b	0.84 ± 0.01 ^a
Fibra bruta (%)	4.6 ± 0.05 ^a	5.2 ± 0.98 ^a	4.1 ± 0.31 ^a
Cenizas (%)	2.4 ± 0.03 ^c	2.3 ± 0.05 ^b	2.9 ± 0.02 ^a

Los valores corresponden a las medias ± error estándar.

^{a,b,c} Valores de las medias en la misma fila y en la misma sección con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). (Prueba de Duncan).

El contenido de humedad se mantuvo dentro del intervalo reportado para el polvo del arilo del fruto de guamúchil, el cual puede presentar variaciones entre 14 y 18% dependiendo del grado de madurez, condiciones ambientales y tipo de procesamiento (Rao et al., 2011). Con respecto, al contenido de proteína, el arilo rojo mostró un valor significativamente mayor (10.7%) en comparación con el blanco (8.2%). Estos resultados coinciden con lo reportado por otros autores, quienes mencionan que la fracción comestible del fruto de guamúchil posee entre 2% y 20% de proteína en base seca (Pío-León et al., 2013; Rao et al., 2011) también destacan que estas diferencias pueden deberse a factores genéticos y ambientales, además del grado de madurez del fruto, que afectan el metabolismo de proteínas y azúcares durante el desarrollo del arilo. En lo que se refiere al contenido de grasa, los valores obtenidos (0.72–0.87%) fueron bajos, lo que confirma que el arilo del guamúchil es un alimento de bajo contenido lipídico, tal como se ha documentado previamente (Rao et al., 2011; Pío-León et al., 2013). Este bajo nivel de grasa contribuye a una menor susceptibilidad a la oxidación lipídica, por lo tanto, a una mayor estabilidad durante el almacenamiento y procesamiento. El contenido de cenizas (2.4–2.9%) indicó un

contenido apreciable de minerales, lo cual coincide con lo reportado por Rao et al. (2013) y Pío-León et al. (2013), quienes describen al arilo de guamúchil como una fuente moderada de minerales esenciales (calcio, potasio y fósforo). Estas diferencias entre variedades pueden explicarse por la disponibilidad de nutrientes en el suelo y las condiciones fisiológicas de la planta. En relación con la fibra (4.6–5.2%), los valores obtenidos se encuentran por encima del rango previamente reportado para el arilo de guamúchil. Rao et al., (2010) reportaron que el arilo blanco presenta 1.5% de fibra, mientras que el arilo rojo contiene alrededor de 1.3%. Por su parte, Vargas-Madriz et al. (2020) informan un contenido de fibra de 3.9%, ligeramente inferior al encontrado en las tres muestras analizadas en este estudio, lo cual puede atribuirse a diferencias en el método de cuantificación, las condiciones de crecimiento o el grado de madurez del fruto empleado en cada estudio.

8.2 Caracterización *in vitro* de los extractos.

8.2.1 Contenido de polifenoles totales (CPT) de los extractos del arilo de guamúchil.

En la Tabla 2, se observan los resultados obtenidos en el contenido de polifenoles totales entre los extractos etanólicos del arilo del guamúchil.

Tabla 2: Contenido polifenoles totales (CPT) en los extractos de guamúchil.

Tratamientos	CPT (mg de extracto/ mg equivalente de AG)
Extracto de guamúchil blanco (GB)	177.4 ^A
Extracto de guamúchil rojo (GR)	158.1 ^A
Extracto de guamúchil mezcla (GM)	174.4 ^A
EE	1.6
Significancia	n.s

GB: extracto etanólico del arilo de guamúchil blanco.

GR: extracto etanólico del arilo de guamúchil rojo.

GM: extracto etanólico del arilo de guamúchil combinado (blanco y rojo).

EE: error estándar de la media.

^A: Medias en la misma columna con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). (Prueba de Duncan).

n.s.: no significativo.

El contenido de polifenoles totales (CPT) de los extractos etanólicos del arilo de guamúchil se presenta en la Tabla 2. Aunque el extracto del arilo rojo mostró numéricamente un valor ligeramente mayor que el extracto del arilo blanco, el análisis estadístico indicó que no existieron diferencias significativas entre ambos tratamientos ($P > 0.05$). A pesar de que el arilo rojo presenta una coloración más intensa, atribuida a la presencia de antocianinas responsables de tonalidades rojizas en frutos, esta diferencia visual no se reflejó en una variación significativa del CPT.

La literatura reporta que el fruto de guamúchil contiene diversos compuestos fenólicos y metabolitos antioxidantes, especialmente en el fruto y sus fracciones comestibles, lo que coincide con los valores obtenidos en este estudio. Vargas-Madriz et al. (2020) describen que el guamúchil posee perfiles relevantes de polifenoles en diferentes partes del fruto. Aunque Pío-León et al. (2013) reportaron que los arilos rojos presentan aproximadamente 1.3 veces más polifenoles totales que los arilos blancos. Los autores trabajaron con frutos colectados en condiciones ambientales, genéticas y de madurez específicas, factores que influyen notablemente en la intensidad de compuestos fenólicos. En este sentido, Wall-Medrano et al. (2016) demostraron que el contenido de polifenoles en guamúchil aumenta conforme avanza la madurez del fruto, lo que significa que el color por sí solo no determina la concentración fenólica, sino que ésta depende estrechamente del estado fisiológico del arilo. Asimismo, la literatura indica que los factores ambientales (suelo, clima, radiación), la variabilidad genética regional y el momento de cosecha pueden generar perfiles fenólicos distintos entre lotes, incluso dentro del mismo tipo (Vargas-Madriz et al., 2020; Wall-Medrano et al. 2016).

8.2.2 Actividad antioxidante (DPPH• y CUPRAC) de los extractos del arilo de guamúchil.

En la Tabla 3, se observa que los extractos del arilo de guamúchil no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0.05$) para la actividad antioxidante (CUPRAC y DPPH•).

Tabla 3: Actividad antioxidante mediante el método de DPPH• y CUPRAC en los extractos de guamúchil.

Tratamientos	CUPRAC (mg extracto/ mg equivalente de AG)	DPPH• IC50 (mg de extracto/ mL)
GB	731.9 ^A	1833.0 ^A
GR	636.1 ^A	872.8 ^A
GM	605.7 ^A	1086.3 ^A
EE	1.04	4.9
Nivel de Significancia	n.s	n.s

GB: extracto etanólico del arilo de guamúchil blanco.

GR: extracto etanólico del arilo de guamúchil rojo.

GM: extracto etanólico de la mezcla de ambos arilos (blanco y rojo).

EE: error estándar de la media

^A: Medias en la misma columna con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). (Prueba de Duncan).

n.s: no significativo.

Los valores obtenidos fueron relativamente similares entre los extractos blanco, rojo y la mezcla de ambos, lo cual sugiere que la capacidad antioxidante del arilo permanece estable independientemente del color del fruto utilizado. Los valores obtenidos mediante CUPRAC evidencian una capacidad importante para transferir electrones y reducir iones cúpricos (Apak et al., 2010). Este comportamiento se asocia estrechamente con la presencia de metabolitos fenólicos capaces de actuar como agentes reductores. Por su parte, los valores del ensayo DPPH• mostraron una tendencia similar, lo cual es coherente con lo señalado por Clarke et al. (2013), quienes demostraron que métodos basados en reacciones de tipo redox, como DPPH• o FRAP, suelen correlacionarse entre sí debido a que dependen de la habilidad de los compuestos bioactivos para donar electrones o átomos de hidrógeno. El método de CUPRAC comparte un mecanismo de oxidación-reducción semejante, por lo que la consistencia entre ambos métodos en este estudio es congruente con lo reportado en la literatura.

De esta manera, la actividad antioxidante observada en los extractos etanólicos del guamúchil puede atribuirse a la presencia de metabolitos característicos de esta especie. Vargas-Madriz et al. (2020) documentaron que el fruto de guamúchil contiene flavonoides como rutina, kaempferol, quercetina y catequina, conocidos por su capacidad de donar electrones y estabilizar radicales libres. Dichos autores también reportaron la presencia de ácido gálico y cafeico., ácidos fenólicos con elevada capacidad reductora, lo cual explica la respuesta observada en CUPRAC y DPPH•. Asimismo, López-Ángulo et al. (2018) identificaron antocianinas (especialmente cianidina-3-glucósido), en los arilos del fruto rojo, compuestos que contribuyen significativamente al potencial antioxidante y podrían explicar el comportamiento del extracto proveniente del arilo rojo o de la mezcla.

8.3 Determinaciones en la carne molida.

8.3.1 Composición proximal en carne molida de bovino.

En la Tabla 4 se observa que la incorporación de los extractos etanólicos del arilo de guamúchil blanco (GB), rojo (GR) y combinado (GM) no generó cambios significativos ($P > 0.05$) en las variables relacionadas con la composición proximal de la carne molida de bovino. Los valores de humedad, grasa, proteína y cenizas permanecieron dentro de intervalos similares a los del tratamiento control (CTL) y del control con antioxidante sintético (ASC), lo que indica que la adición de los extractos a una concentración de 3 g/kg carne no afectó la composición proximal de la matriz cárnica.

Tabla 4: Efecto de la incorporación de los extractos del fruto de guamúchil sobre la composición proximal de carne molida de bovino.

	Tratamiento				
	CTL	CB	GR	GM	ASC
Humedad (%)	71.4 ± 0.82 ^A	72.1 ± 0.95 ^A	71.9 ± 0.77 ^A	72.9 ± 0.63 ^A	72.5 ± 0.58 ^A
Grasa (%)	6.6 ± 0.06 ^A	5.6 ± 0.27 ^A	5.3 ± 0.01 ^A	6.1 ± 1.48 ^A	4.9 ± 0.24 ^A
Proteína (%)	16.2 ± 0.70 ^A	15.1 ± 1.86 ^A	15.6 ± 1.17 ^A	15.7 ± 1.51 ^A	16.9 ± 1.77 ^A
Cenizas (%)	1.2 ± 0.02 ^A	1.1 ± 0.01 ^A	1.2 ± 0.02 ^A	1.1 ± 0.03 ^A	1.2 ± 0.06 ^A
Significancia	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s

CTL: carne sin la incorporación de extractos (control negativo).

GB: carne con extracto del arilo de guamúchil blanco a una concentración de 3 g/kg carne.

GR: carne con extracto del arilo de guamúchil rojo a una concentración de 3 g/kg carne.

GM: carne con extracto de la mezcla de guamúchil (arilo blanco y rojo) una concentración de 3 g/kg carne.

ASC: carne con ascorbato de sodio a una concentración de 100 mg/kg carne (control positivo).

^A: Medias en la misma columna con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$). (Prueba de Duncan).

n.s: no significativo.

Gómez et al. (2020), quienes adicionaron extractos del fruto de olivo en carne de res para elaborar hamburguesas, observaron que la inclusión de antioxidantes naturales no afectó la composición proximal, debido a que estos compuestos no modifican la estructura tisular ni reemplazan componentes inherentes al músculo, sino que actúan principalmente en la inhibición de procesos oxidativos. Los autores destacaron que la humedad, grasa y proteína permanecieron estadísticamente similares con respecto al control.

8.3.2 Efecto de la incorporación de los extractos de guamúchil sobre el pH de la carne molida de bovino cruda y cocida.

El comportamiento del pH en carne molida, tanto cruda como cocida, se muestra en la Tabla 5. En general, los valores iniciales oscilaron entre 5.36 y 5.46 para la carne cruda y entre 5.57 y 5.66 para la carne cocida, sin presentar diferencias significativas ($P > 0.05$) entre tratamientos en ninguno de los días evaluados.

Tabla 5: Efecto de la incorporación del extracto del arilo de guamúchil sobre el pH en carne molida cruda y cocida de res almacenadas a 4 °C.

Cruda	DÍAS	Tratamientos					EE	Significancia
		CTL	GB	GR	GM	ASC		
	1	5.40 ^{a,B}	5.46 ^{a,B}	5.39 ^{a,B}	5.38 ^{a,B}	5.38 ^{a,B}	0.01	n.s
	3	5.36 ^{a,B}	5.38 ^{a,B}	5.37 ^{a,B}	5.36 ^{a,B}	5.36 ^{a,B}	0.01	n.s
	6	5.40 ^{a,B}	5.40 ^{a,B}	5.41 ^{a,B}	5.41 ^{a,B}	5.43 ^{a,B}	0.01	n.s
	8	5.85 ^{a,A}	5.77 ^{a,A}	5.89 ^{a,A}	5.79 ^{a,A}	5.84 ^{a,A}	0.04	n.s
	EE	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04		
	Significancia	***	***	***	***	***		
Cocida	1	5.65 ^{a,A}	5.66 ^{a,A}	5.66 ^{a,A}	5.65 ^{a,A}	5.65 ^{a,A}	0.01	n.s
	3	5.59 ^{a,B}	5.61 ^{a,A,B}	5.62 ^{a,B}	5.60 ^{a,B}	5.62 ^{a,A}	0.01	n.s
	6	5.57 ^{a,B}	5.57 ^{a,B}	5.57 ^{a,C}	5.57 ^{a,C}	5.57 ^{a,B}	0.01	n.s
		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
	EE	***	**	***	***	**		
	Significancia	***	***	***	***	***		

CTL: carne sin la incorporación de extractos (control negativo).

GB: carne con extracto del arilo de guamúchil blanco a una concentración de 3 g/kg carne.

GR: carne con extracto del arilo de guamúchil rojo a una concentración de 3 g/kg carne.

GM: carne con extracto de la mezcla de guamúchil (arilo blanco y rojo) una concentración de 3 g/kg carne.

ASC: carne con ascorbato de sodio a una concentración de 100 mg/kg carne (control positivo)

EE: error estándar de la media

^{A, B, C}: Medias en la misma columna con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$)

Significancia; *($P < 0.05$), **($P < 0.01$), ***($P < 0.001$).

A pesar de que no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, el pH de la carne cruda inició con valores muy similares entre todos los tratamientos, lo que indica que la incorporación del extracto no modificó la acidez natural de la carne. Durante los primeros días, particularmente en el día 3, se observó una disminución numérica leve del pH, la cual puede atribuirse al efecto de los ácidos orgánicos presentes en el extracto del arilo de guamúchil. En esta etapa inicial, la carne aún mantiene estabilidad estructural y la formación de compuestos básicos derivados de la degradación proteica es mínima, por lo que los componentes ácidos pueden ejercer un efecto moderado, como se ha reportado en formulaciones cárnicas con adición de frutas (Valenzuela et al., 2022; Wojtaszek & Salejda, 2024). Posteriormente, entre los días 6 y 8, se registró un incremento significativo del pH, un comportamiento ampliamente documentado en carne refrigerada. Este aumento se asocia a la acumulación de amoníaco y aminas generadas a partir de la degradación de

proteínas y aminoácidos conforme avanza el deterioro microbiano (Gill & Gill, 2010; Villalobos-Delgado et al., 2017). La presencia de estos compuestos básicos explica el cambio ascendente del pH durante las etapas avanzadas del almacenamiento, independientemente del tipo de extracto utilizado. No obstante, a pesar de este incremento final, los valores obtenidos cumplieron con los límites establecidos por la legislación mexicana (Secretaría de Salud, 1993), la cual indica un rango máximo permitido de pH 6.5–6.8 para carne molida fresca, lo que confirma que la carne permaneció dentro de los parámetros fisicoquímicos adecuados durante todo el periodo evaluado.

En la carne cocida, el pH inicial fue ligeramente mayor que en la carne cruda, lo cual es un comportamiento esperado debido a que la cocción provoca desnaturalización de proteínas, exposición de grupos amino y reducción del CO₂ retenido, factores que elevan moderadamente el pH del tejido (Unruh et al., 2016). Durante el almacenamiento, se observó una disminución leve y progresiva del pH. Este comportamiento es típico en productos cárnicos cocidos con extractos frutales, debido a que algunos ácidos orgánicos termoestables continúan influyendo sobre la acidez incluso después del tratamiento térmico (Valenzuela et al., 2022). Además, la cocción reduce de manera importante la carga microbiana y desactiva enzimas proteolíticas, lo que limita la formación de compuestos básicos asociados al deterioro y favorece la estabilidad del pH. En este sentido, los valores permanecieron dentro del límite establecido por la legislación mexicana (Secretaría de Salud, 1993), que indica un pH máximo de 6.8 para productos cárnicos cocidos, lo que demuestra que la carne mantuvo condiciones adecuadas de calidad durante el almacenamiento.

8.3.3 Efecto de la incorporación de los extractos del arilo de guamúchil sobre el color instrumental y cambio total de color (ΔE) en carne molida cruda.

En la Tabla 6, se observa el comportamiento de las variables del color (L^* , a^* , b^* , Cromo y tono) en carne molida de bovino tratada con extracto del arilo de guamúchil durante su almacenamiento en refrigeración. Con respecto a la variable L^* , Paglarini et al. (2023), asociaron la reducción de L^* con la incorporación de pigmentos naturales provenientes de extractos vegetales. No obstante, en este estudio no se observaron diferencias significativas entre tratamientos ni a través del tiempo de almacenamiento, lo que indica que los pigmentos del extracto de guamúchil no influyeron en la luminosidad de la carne. Por otra parte, al día 6 de almacenamiento, los valores de a^* en el tratamiento GM fueron significativamente más altos ($P < 0.05$), no mostrando diferencias significativas con el ASC

($P > 0.05$). Estos resultados indican que el tratamiento con la mezcla de guamúchil presentó una coloración más rojiza en la carne. Este incremento en el valor de a^* puede atribuirse a la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides en el extracto, los cuales reducen la oxidación de la oximioglobina, conservando el tono rojo característico del producto cárnico. Estos resultados coinciden con lo reportado por Orădan et al. (2024), quienes observaron que la adición de extractos de frutas con alto contenido de polifenoles y antocianinas mantienen o incrementan los valores de a^* en productos cárnicos durante su almacenamiento en refrigeración, debido a su efecto antioxidante y estabilizador de pigmentos. Por otra parte, el parámetro b^* presentó una tendencia a disminuir, lo que sugiere una menor tonalidad amarilla y una mayor estabilidad del color. Mientras que el croma, el cual representa la saturación o intensidad del color, mostró valores más altos en los tratamientos con extracto de guamúchil, indicando un color más intenso y estable. Este efecto podría deberse a la interacción entre los pigmentos naturales del fruto y las proteínas miofibrilares, lo que ayuda a mantener la integridad del color durante el almacenamiento. En tanto, los valores de tono presentaron una relación inversa con a^* , lo que concuerda con lo reportado en otros estudios sobre extractos vegetales aplicados en carne (Orădan et al., 2024).

Tabla 6: Efecto de la incorporación de los extractos del fruto de guamúchil sobre las variables del color instrumental en carne molida cruda.

		TRATAMIENTOS						Significancia
	DÍAS	CTL	GB	GR	GM	ASC	EE	
<i>L*</i>	1	42.1 ^{a,A}	43.4 ^{a,A}	44.1 ^{a,A}	43.6 ^{a,A}	43.7 ^{a,A}	0.43	n.s
	3	41.8 ^{a,A}	42.8 ^{a,A}	42.8 ^{a,A}	43.4 ^{a,A}	42.5 ^{a,A}	0.44	n.s
	6	42.6 ^{a,A}	43.5 ^{a,A}	44.2 ^{a,A}	43.9 ^{a,A}	42.7 ^{a,A}	0.43	n.s
	8	40.9 ^{a,A}	42.1 ^{a,A}	41.4 ^{a,A}	43.1 ^{a,A}	40.9 ^{a,A}	0.64	n.s
	EE	0.65	0.55	0.54	0.45	0.57		
	Significancia	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s		
<i>a*</i>	1	14.9 ^{a,A}	13.7 ^{b,A}	13.6 ^{b,A}	13.1 ^{b,A}	15.1 ^{a,A}	0.16	***
	3	12.1 ^{a,B}	10.7 ^{b,B}	10.4 ^{b,B}	10.9 ^{b,B}	12.6 ^{a,B}	0.16	***
	6	8.9 ^{b,c,C}	8.2 ^{c,C}	8.7 ^{b,c,C}	9.2 ^{a,C}	9.6 ^{a,C}	0.12	**
	8	10.6 ^{a,B}	10.5 ^{a,B}	10.6 ^{a,B}	9.7 ^{a,C}	9.6 ^{a,C}	0.29	n.s
	EE	0.43	0.38	0.34	0.27	0.4		
	Significancia	***	***	***	***	***		
<i>b*</i>	1	17.8 ^{a,A}	17.1 ^{b,A}	16.9 ^{b,c,A}	16.7 ^{c,A}	17.8 ^{a,A}	0.09	***
	3	16.2 ^{a,B}	16.1 ^{a,B}	15.8 ^{a,B}	16.6 ^{a,A}	16.9 ^{a,B}	0.16	n.s
	6	15.4 ^{a,b,B}	15.3 ^{b,C}	15.7 ^{a,b,B}	16.0 ^{a,A,B}	15.7 ^{a,b,C}	0.09	n.s
	8	15.4 ^{a,B}	15.8 ^{a,C}	16.0 ^{a,B}	15.4 ^{a,B}	15.1 ^{a,D}	0.13	n.s
	EE	0.22	0.15	0.12	0.18	0.18		
	Significancia	***	***	***	n.s	***		
Croma	1	23.2 ^{a,A}	21.9 ^{b,A}	21.65 ^{b,c,A}	21.2 ^{c,A}	23.3 ^{a,A}	0.15	***
	3	20.6 ^{a,b,B}	19.4 ^{c,B}	18.9 ^{c,B}	19.8 ^{b,c,B}	21.1 ^{a,B}	0.2	**

	6	17.8 ^{b,D}	17.40 ^{b,C}	17.9 ^{a,b,C}	18.4 ^{a,B}	18.4 ^{a,C}	0.1	***
	8	18.8 ^{a,b,C}	19.04 ^{a,b,B}	19.2 ^{a,b,B}	18.7 ^{a,C}	17.9 ^{b,C}	0.17	n.s
	EE	0.37	0.31	0.26	0.21	0.36		
	Significancia	***	***	***	***	***		
Tono	1	50.2 ^{a,b,C}	51.2 ^{a,b,C}	51.2 ^{a,b,C}	51.8 ^{a,C}	49.6 ^{b,C}	0.26	n.s
	3	54.2 ^{b,B}	56.4 ^{a,B}	56.7 ^{a,B}	56.9 ^{a,B}	53.4 ^{b,B}	0.25	***
	6	60.1 ^{a,b,A}	61.7 ^{a,A}	60.9 ^{a,b,A}	59.9 ^{a,b,A}	58.6 ^{b,A}	0.36	n.s
	8	55.8 ^{a,B}	56.7 ^{a,B}	56.8 ^{a,B}	58.9 ^{a,A}	57.6 ^{a,A}	0.73	n.s
	EE	0.84	0.79	0.71	0.58	0.7		
	Significancia	***	***	***	***	***		

CTL: carne sin la incorporación de extractos (control negativo).

GB: carne con extracto del arilo de guamúchil blanco a una concentración de 3 g/kg carne.

GR: carne con extracto del arilo de guamúchil rojo a una concentración de 3 g/kg carne.

GM: carne con extracto de la mezcla de arilo de guamúchil (blanco y rojo) a una concentración de 3 g/kg carne.

ASC: carne con ascorbato de sodio a una concentración de 100 mg/kg carne (control positivo).

^{a,b}: Medias en la misma fila con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

^{A,B,C}: Medias en la misma columna con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

EE: error estándar de la media

n.s.: no significativo.

Significancia; *($P < 0.05$), **($P < 0.01$), ***($P < 0.001$)

En la Tabla 7 se observa que la variación total del color (ΔE) entre el día 1 y el día 8 osciló entre 3.70 y 6.80 según el tratamiento aplicado. Todos los valores superaron el umbral de $\Delta E = 2$, considerado como el mínimo cambio perceptible para el ojo humano en productos cárnicos (Francis & Clydesdale, 1975; Lorenzo et al., 2014). Esto indica que la carne presentó modificaciones visibles en su color durante el almacenamiento. El GB y GM mostraron los valores más bajos de ΔE (3.70), lo que sugiere una ligera estabilidad cromática con respecto al CTL. Este comportamiento es congruente con lo reportado por Lorenzo et al. (2014), quienes demostraron que extractos vegetales ricos en compuestos antioxidantes reducen el grado de cambio total de color durante la refrigeración al retrasar la oxidación de la mioglobina, principal pigmento responsable del color en la carne. La posible protección observada podría atribuirse a los compuestos fenólicos presentes en el arilo del guamúchil, como catequina, epicatequina, quercetina, rutina, ácido gálico y antocianinas (Vargas-Madriz et al., 2020; López-Ángulo et al., 2018), los cuales poseen actividad antioxidante capaz de retardar la formación de metamioglobina, asociada al pardeamiento de la carne (Bellucci et al., 2022). En contraste, el tratamiento con ascorbato de sodio (ASC) presentó el valor de ΔE más alto (6.80). Aunque este compuesto es reconocido por su función como antioxidante, su efectividad puede variar según la matriz cárnica y las condiciones de almacenamiento, tal como se ha documentado en estudios sobre aditivos y estabilidad del color en carne (Pateiro et al., 2021).

Tabla 7: Efecto de la incorporación de los extractos de la incorporación de los extractos del fruto de guamúchil sobre el ΔE en carne molida cruda.

	Tratamientos				
	CTL	GB	GR	GM	ASC
ΔE_{1-8}	5.06	3.70	4.16	3.70	6.80

CTL: carne sin la incorporación de extractos (control negativo).

GB: carne con extracto del arilo de guamúchil blanco a una concentración de 3 g/kg carne.

GR: carne con extracto del arilo de guamúchil rojo a una concentración de 3 g/kg carne.

GM: carne con extracto de la mezcla de arilo de guamúchil (blanco y rojo) a una concentración de 3 g/kg carne.

ASC: carne con ascorbato de sodio a una concentración de 100 mg/kg carne (control positivo).

8.3.4 Efecto de la incorporación de los extractos del arilo de guamúchil sobre el contenido de metamioglobina en carne molida cruda.

En la Figura 8 se observa que, durante el almacenamiento a 4 °C, el porcentaje de metamioglobina (%MMb) aumentó progresivamente en todos los tratamientos, siendo más evidente al día 6, con un descenso al día 8 de almacenamiento. Durante el almacenamiento, la oxidación progresiva conduce a un incremento de metamioglobina, asociado con la pérdida del color rojo brillante y el desarrollo de tonalidades marrón que reducen la aceptabilidad del producto (Kumar et al., 2015). Hernández Salueña et al. (2019) demostraron que el aumento de MMb se relaciona directamente con la disminución del parámetro a^* y con mayores valores de ΔE^* , confirmando que este pigmento oxidado es el principal indicador del deterioro visual de la carne.

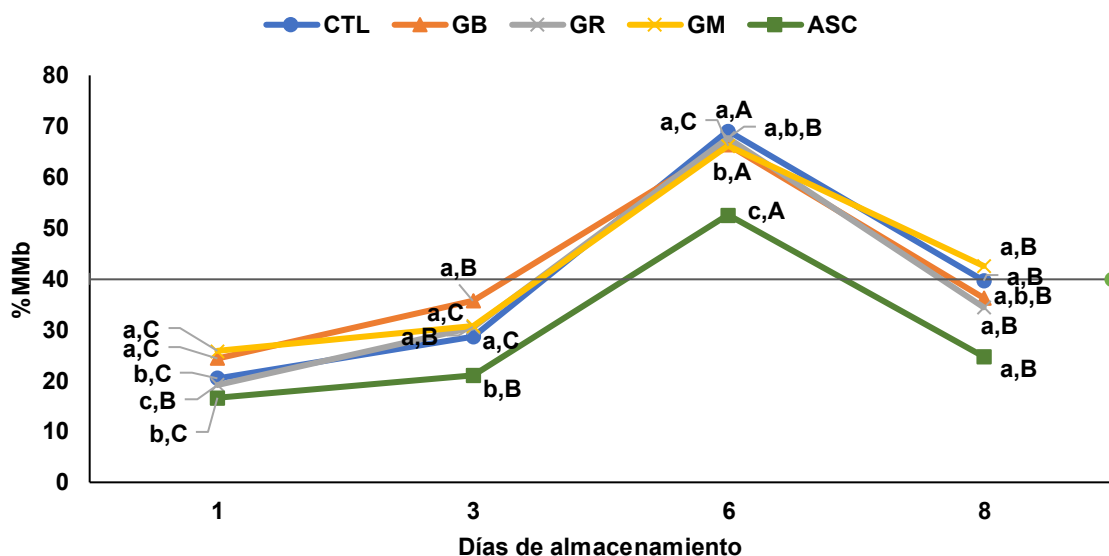


Figura 8: Efecto de la incorporación del extracto del arilo de guamúchil sobre %MMb en carne molida de res cruda almacenadas a 4°C.

CTL: carne sin la incorporación de extractos (control negativo).

GB: carne con extracto del arilo de guamúchil blanco a una concentración de 3 g/kg carne.

GR: carne con extracto del arilo de guamúchil rojo a una concentración de 3 g/kg carne.

GM: carne con extracto de la mezcla de arilo de guamúchil (blanco y rojo) a una concentración de 3 g/kg carne.

ASC: carne con ascorbato de sodio a una concentración de 100 mg/kg carne (control positivo).

a, b,c: Las medias entre tratamiento en el mismo tiempo de almacenamiento con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

A,B,C: Las medias entre días de almacenamiento en el mismo tratamiento de con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Al finalizar el almacenamiento (día 8), se observó una disminución en el porcentaje de metamioglobina en todos los tratamientos. Este descenso ha sido reportado previamente en sistemas cárnicos almacenados bajo refrigeración, especialmente cuando la tensión de oxígeno disminuye significativamente hacia las etapas finales del almacenamiento. Autores como Motoyama et al. (2010) reportaron que las *Pseudomonas* spp. convirtieron la metamioglobina en desoximioglobina bajo condiciones de muy baja tensión de oxígeno, ya que este proceso de reducción está directamente relacionado con el consumo de oxígeno por parte de las bacterias. Estos mecanismos explican que, a medida que la microbiota aerobia consume el oxígeno disponible, pueden ocurrir reacciones reductoras que favorecen la reconversión parcial de la metamioglobina hacia formas reducidas del pigmento, lo que se atribuye con el comportamiento observado en este estudio.

En cuanto a la aceptabilidad del color, los valores obtenidos en este trabajo se mantienen dentro de los rangos reportados como críticos en la literatura especializada. En este sentido, al final del periodo de almacenamiento, el CTL alcanzó un valor cercano al 39.6%, mientras que GR presentó el menor porcentaje 34.31% de MMb. De acuerdo con la clasificación descrita por Villalobos-Delgado (2025), la carne con 30–45% de MMb conserva aún tonalidades rojas aceptables, mientras que valores superiores a este intervalo indican una transición hacia colores rojizos opacos o incluso marrón-rojizos. No obstante, la American Meat Science Association (AMSA, 2012) y Sánchez-Escalante et al. (2001) establecen que los niveles de metamioglobina por encima del 40% generalmente se asocian con una decoloración inaceptable por los consumidores. En este contexto, el valor obtenido en GR indica que mantuvo un color aceptable. El efecto protector observado puede atribuirse a las propiedades antioxidantes de los compuestos presentes en el arilo del guamúchil.

8.3.5 Efecto de la incorporación de los extractos del arilo de guamúchil sobre los TBARS en carne molida cruda y cocida.

La incorporación de los extractos del arilo de guamúchil Figura 9, en carne molida cruda mostró diferencias en la oxidación lipídica durante su almacenamiento a 4 °C. Al día 1, los valores de TBARS fueron ligeramente menores en el control (0.35 mg MAD/kg) en comparación con los tratamientos tratados con el extracto del arilo de guamuchil (0.41–0.52 mg MAD/kg), diferencia que puede atribuirse a interacciones iniciales entre los compuestos fenólicos del extracto y los componentes pro-oxidantes de la carne. Diversos autores han señalado que algunos polifenoles pueden actuar transitoriamente como pro-oxidantes en matrices ricas en hierro y mioglobina, especialmente durante las primeras horas tras la

incorporación, debido a la reducción de Fe^{3+} a Fe^{2+} y a la formación de fenolatos que aceleran la oxidación inicial de lípidos (Domínguez et al., 2019; Kanner, 1994; Zhu et al., 2024).

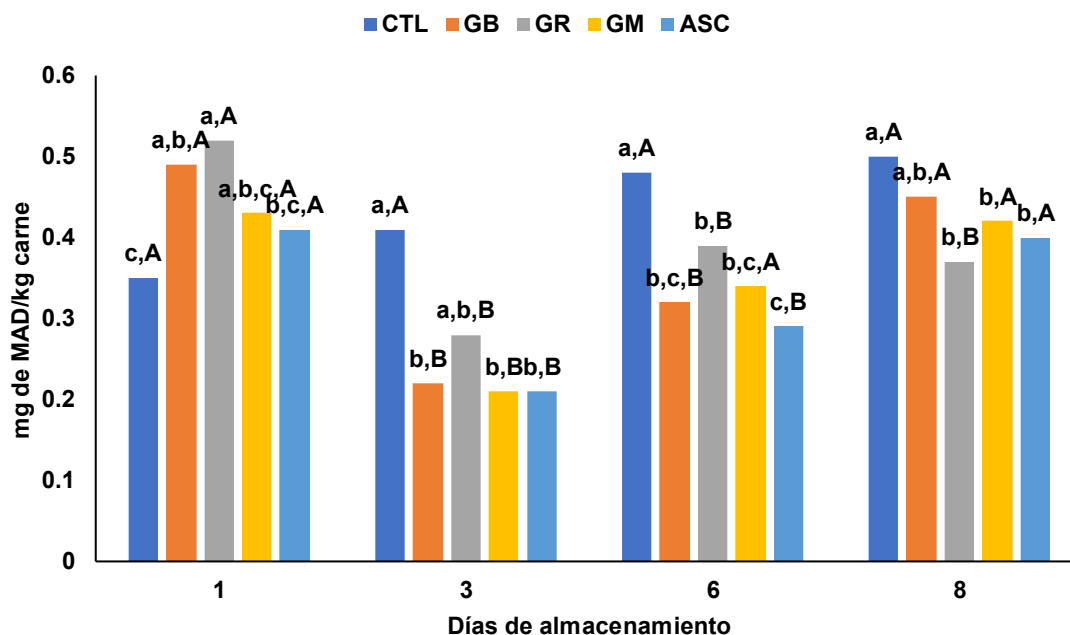


Figura 9: Efecto de la incorporación del extracto del arilo de guamúchil sobre TBARS (Sustancias reactivas a ácido tiobarbitúrico: mg de MAD/kg carne), en carne molida cruda almacenadas a 4 °C.

CTL: carne sin la incorporación de extractos (control negativo).

GB: carne con extracto del arilo de guamúchil blanco a una concentración de 3 g/kg carne.

GR: carne con extracto del arilo de guamúchil rojo a una concentración de 3 g/kg carne.

GM: carne con extracto de la mezcla de arilo de guamúchil (blanco y rojo) a una concentración de 3 g/kg carne.

ASC: carne con ascorbato de sodio a una concentración de 100 mg/kg carne (control positivo).

a, b,c: Las medias entre tratamiento en el mismo tiempo de almacenamiento con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

A,B: Las medias entre días de almacenamiento en el mismo tratamiento de con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

A partir del día 3, se observó una disminución significativa en los valores de TBARS en los tratamientos con los extractos. Se pudo observar que GB (0.22 mg MAD/kg) y CGM (0.21 mg MAD/kg) presentaron valores similares al tratamiento ASC (0.21 mg MAD/kg) y valores más bajos con respecto al control negativo (0.41 mg MAD/kg). Este comportamiento refleja el posible efecto antioxidante de los compuestos fenólicos presentes en el arilo del guamuchil, los cuales actúan como donadores de hidrógeno y agentes quelantes de metales, estabilizando los radicales libres formados en las primeras etapas de la

peroxidación (Bertelli et al., 2021; Falowo et al., 2014). En los días posteriores (6 y 8), la mayoría de los extractos mantuvieron valores de TBARS inferiores al control, con diferencias altamente significativas ($P < 0.05$). Al día 8 de almacenamiento, el tratamiento GR presentó el valor más bajo (0.37 mg MAD/kg), evidenciando una mayor capacidad antioxidante en este color de arilo; capacidad antioxidante ligeramente menor al que presentó el tratamiento con la incorporación de antioxidante sintético (ascorbato de sodio). Este efecto se podría explicar considerando la capacidad que presentan los polifenoles del guamúchil para donar electrones, secuestrar radicales peroxilos y quelar iones metálicos como Fe^{2+} y Cu^{2+} , inhibiendo las reacciones en cadena que conducen a la peroxidación lipídica (Apak et al., 2010; Bertelli et al., 2021). La mayor eficacia del tratamiento GR podría atribuirse a su posible contenido de antocianinas y flavonoides, compuestos que actúan sinérgicamente en la inhibición de la propagación de radicales peroxilos (López-Angulo et al., 2018; Vargas-Madriz et al., 2020).

De manera consistente con este comportamiento, estudios previos también han demostrado que extractos fenólicos de origen frutal pueden disminuir de forma significativa la oxidación lipídica en productos cárnicos. Brodowska et al. (2017) observaron que la incorporación de extracto de cereza ácida (*Prunus cerasus* cv. Montmorency) en carne de cerdo molida redujo de manera notable el incremento de TBARS durante ocho días de almacenamiento refrigerado, además de mantener la intensidad del color rojo y retardar el deterioro sensorial. De forma similar, Ivanov et al. (2025) reportaron que el extracto de semilla de uva aplicado en un sistema modelo de salchicha de res y cerdo disminuyó la oxidación lipídica, contribuyó a la estabilidad del color y limitó el crecimiento microbiano respecto al control. Ambos trabajos respaldan que los polifenoles derivados de frutas presentan una capacidad antioxidante eficaz en matrices cárnicas, lo cual coincide con los efectos observados en los extractos de guamúchil evaluados en este estudio.

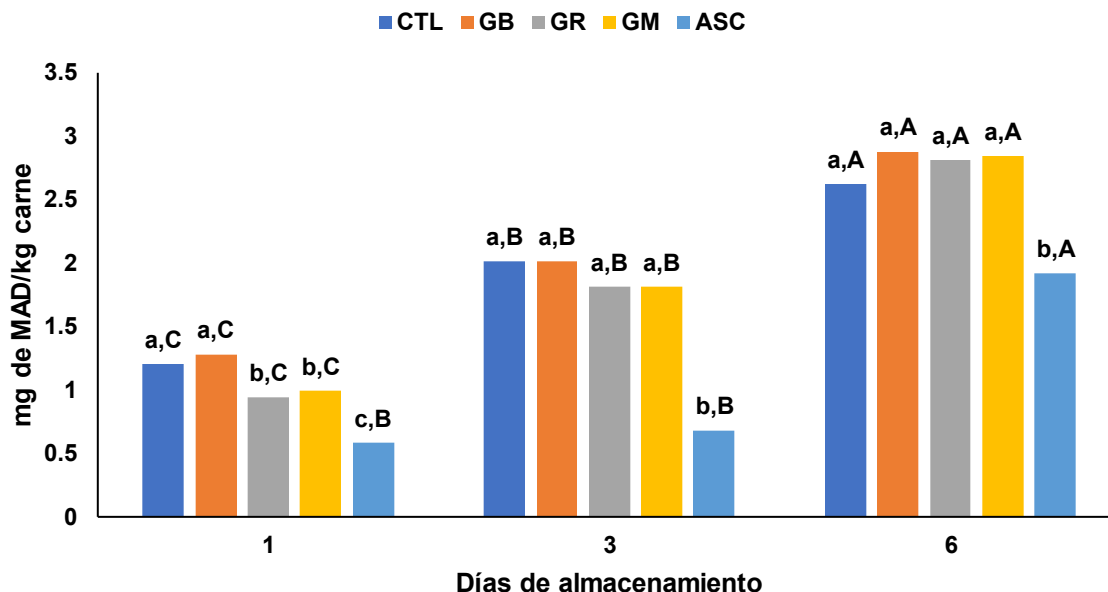


Figura 10: Efecto de la incorporación del extracto del arilo de guamúchil sobre TBARS (Sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico; mg de MAD/kg carne) en carne molida cocida almacenadas a 4 °C.

CTL: carne sin la incorporación de extractos (control negativo).

GB: carne con extracto del arilo de guamúchil blanco a una concentración de 3 g/kg carne.

GR: carne con extracto del arilo de guamúchil rojo a una concentración de 3 g/kg carne.

GM: carne con extracto de la mezcla de arilo de guamúchil (blanco y rojo) a una concentración de 3 g/kg carne. ASC: carne con ascorbato de sodio a una concentración de 100 mg/kg carne (control positivo). ^{a, b}: Las medias entre tratamientos en el mismo tiempo de almacenamiento con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

^{A, B, C}: Las medias entre días de almacenamiento en el mismo tratamiento con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Por otra parte, los valores de TBARS obtenidos en carne molida cocida Figura 10, durante el almacenamiento en refrigeración muestran un patrón claro de incremento oxidativo con el tiempo, con diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$). Al día 1 de almacenamiento, el control de carne cocida (CTL) presentó un valor de 1.20 mg MAD/kg, mientras que los tratamientos con extractos oscilaron entre 0.94 mg MAD/kg (GR) y 1.28 mg MAD/kg (GB). El tratamiento con ascorbato (ASC) mostró el valor más bajo (0.58 mg MAD/kg), lo cual es consistente con su reconocida capacidad para inhibir la oxidación por su función como donador de electrones (Falowo et al., 2014). En este primer día, los extractos del arilo de guamúchil presentaron valores ligeramente superiores al control, lo cual coincide con lo propuesto por Kanner (1994) y Domínguez et al. (2019), quienes explican que ciertos polifenoles pueden exhibir actividad pro-oxidante transitoria en

matrices cárnicas cocidas debido a su interacción con el hierro no hemo liberado por la desnaturalización de hemoproteínas durante la cocción. Este hierro cataliza reacciones, favoreciendo la formación de radicales hidroxilos y acelerando la oxidación inicial de los lípidos.

A partir del día 3, los valores de TBARS aumentaron en todos los tratamientos, alcanzando 2.01 mg MAD/kg en CTL y GB, mientras que los extractos GR y GM mostraron valores ligeramente menores (1.81 mg MAD/kg). De la misma manera, el ascorbato mantuvo el valor más bajo (0.68 mg MAD/kg). Esta reducción relativa observada en los tratamientos GR y GM frente al control sugiere que, tras la fase inicial, los compuestos fenólicos del guamúchil probablemente comenzaron a manifestar su actividad antioxidante, actuando como captadores de radicales y quelantes del hierro catalítico, reduciendo la velocidad de la peroxidación lipídica (Bellucci et al., 2022; Zhang et al., 2022).

En este sentido, diversas investigaciones han demostrado que extractos de origen vegetal pueden retardar de manera efectiva la oxidación lipídica en productos cárnicos. Saha et al. (2011) reportaron que extractos de fresa con alta capacidad antioxidante inhibieron la peroxidación lipídica en hamburguesas de pollo cocidas, mostrando un efecto protector creciente conforme aumentó la concentración del extracto. Asimismo, Rojas & Brewer (2007) describieron que antioxidantes naturales como el extracto de semilla de uva, la oleorresina de romero y el extracto soluble de orégano reducen significativamente la formación de compuestos secundarios de oxidación incluidos el malondialdehído en carne de bovino y cerdo cocida y almacenada en refrigeración, además de contribuir a la estabilidad del color. En conjunto, estas investigaciones respaldan que los polifenoles presentes en extractos frutales y herbales pueden actuar como donadores de hidrógeno y secuestradores de radicales, retrasando las reacciones en cadena asociadas a la oxidación lipídica; efectos que coinciden con los observado en los extractos de guamúchil evaluados en carne molida en este estudio.

Los valores de TBARS aumentaron significativamente conforme avanzó el tiempo de almacenamiento en todos los tratamientos, lo que refleja un incremento progresivo de la oxidación lipídica. Al día 6, el tratamiento considerado como control negativo presentó un valor de 2.62 mg MDA/kg, mientras que los tratamientos con extractos mostraron valores entre 2.88, 2.81 y 2.84 mg MDA/kg para guamúchil blanco, rojo y la mezcla, respectivamente. Finalmente, el tratamiento con ascorbato continuó siendo el más efectivo a lo largo del almacenamiento, manteniendo el valor más bajo al día 6 (1.92 mg MAD/kg),

lo cual coincide con estudios que demuestran su eficacia como antioxidante sintético de referencia en matrices cárnicas cocidas (Estévez, 2011; Huang & Ahn, 2019).

8.3.6 Evaluación sensorial de la carne molida.

De acuerdo con los resultados de la evaluación sensorial, en las Figuras 11, 12, 13 y 14 se muestra la distribución porcentual del nivel de agrado de los panelistas para los atributos de color, olor, sabor y aceptabilidad general, de la carne molida cocida correspondiente a los tratamientos control negativo (CTL), carne tratada con extracto de guamúchil rojo (GR) y carne tratada con ascorbato de sodio (ASC), evaluados mediante una escala hedónica de cinco puntos.

En el atributo color (Figura 11), los tres tratamientos presentaron su mayor porcentaje de respuestas en la categoría “me gusta moderadamente”, lo que indica una aceptación visual generalizada de las muestras. Destaca que el tratamiento ASC presentó el mayor porcentaje dentro de esta categoría, seguido del control negativo y del tratamiento con extracto de guamúchil rojo. Aunque el tratamiento GR mostró una proporción ligeramente mayor de respuestas en la categoría “no me gusta ni me disgusta”, no se observaron porcentajes relevantes en categorías de disgusto, por lo que la adición del extracto de guamúchil no afectó negativamente la percepción visual de la carne molida cocida.

Con respecto al atributo olor (Figura 12), el tratamiento control negativo (CTL) presentó el mayor porcentaje de aceptación en la categoría “me gusta moderadamente”, seguido de los tratamientos GR y ASC. En todos los casos, las respuestas se concentraron principalmente entre las categorías de agrado moderado y neutralidad, observándose porcentajes bajos en las categorías de disgusto. Estos resultados indican que la incorporación del extracto de guamúchil rojo no generó olores indeseables ni rechazo sensorial por parte de los panelistas.

En cuanto al atributo sabor (Figura 13), los tratamientos CTL y GR mostraron porcentajes de aceptación similares, predominando la categoría “me gusta moderadamente”, lo que sugiere que la incorporación del extracto de guamúchil rojo no afectó de manera negativa la percepción del sabor de la carne molida cocida. El tratamiento ASC presentó una mayor proporción de respuestas neutrales en comparación con CTL y GR, lo que indica una preferencia ligeramente menor, aunque sin evidenciar rechazo sensorial.

Finalmente, la aceptabilidad general (Figura 14) mostró que los tratamientos CTL y GR presentaron distribuciones de respuestas similares, con predominio de las categorías de

agrado, lo que confirma que la carne molida cocida con extracto de guamúchil rojo fue aceptada sensorialmente por la mayoría de los panelistas. El tratamiento ASC también se mantuvo dentro de categorías de aceptación, aunque con una mayor proporción de respuestas neutrales.

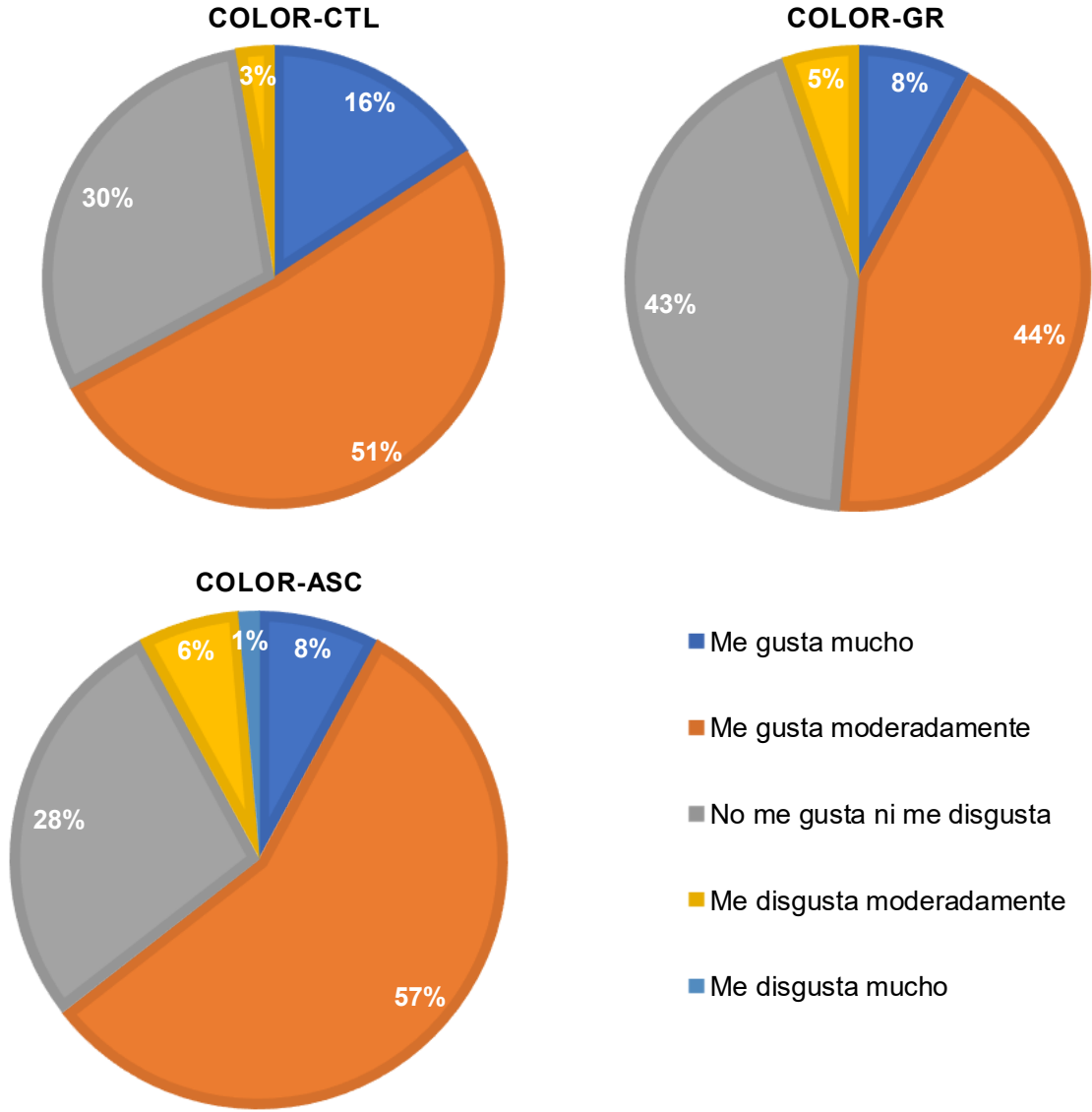


Figura 11: Porcentaje del nivel de agrado del atributo color según la escala hedónica para carne molida cocida (CTL, GR y ASC).

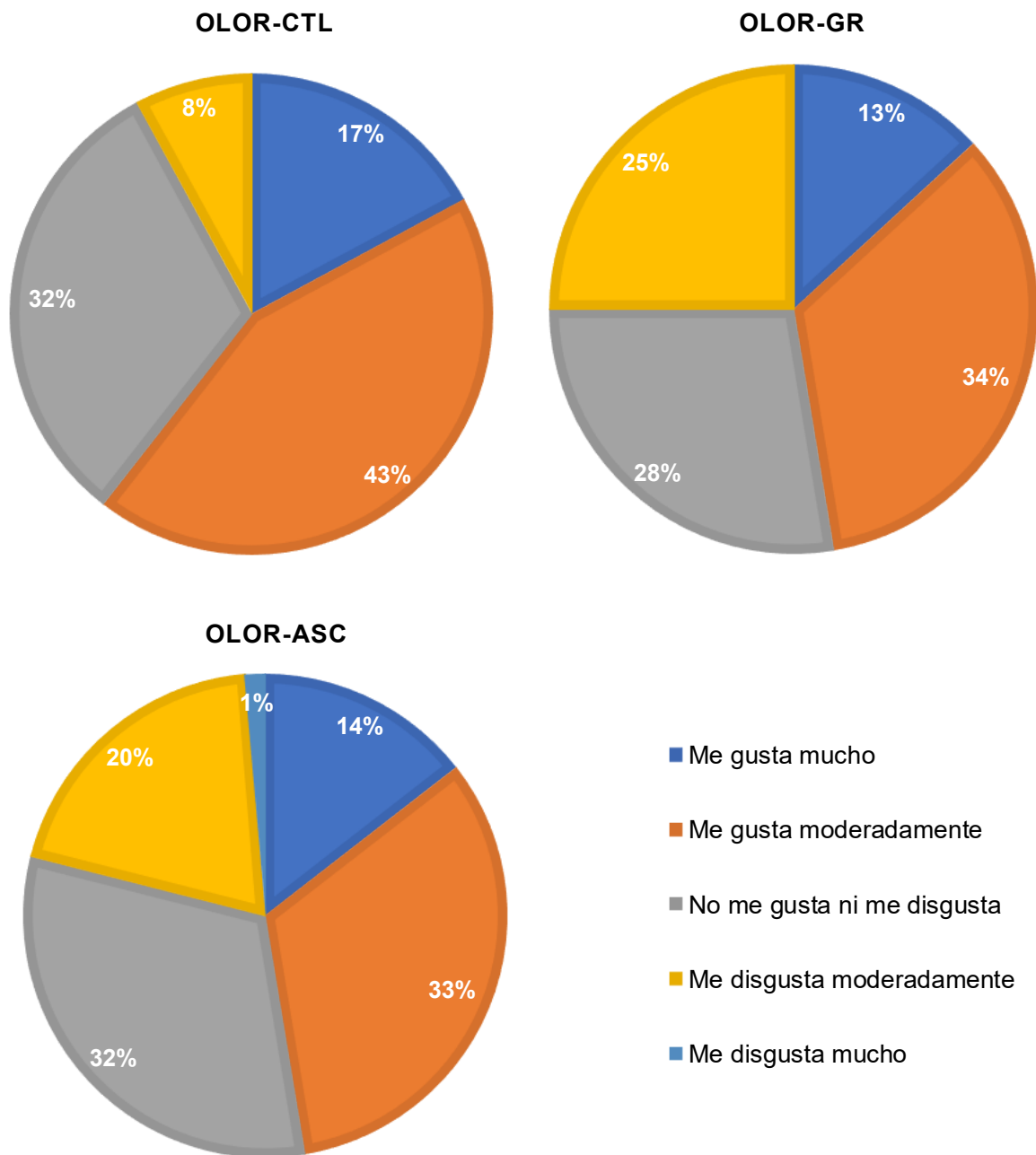


Figura 12: Porcentaje del nivel de agrado del atributo olor según la escala hedónica para carne molida cocida (CTL, GR y ASC).

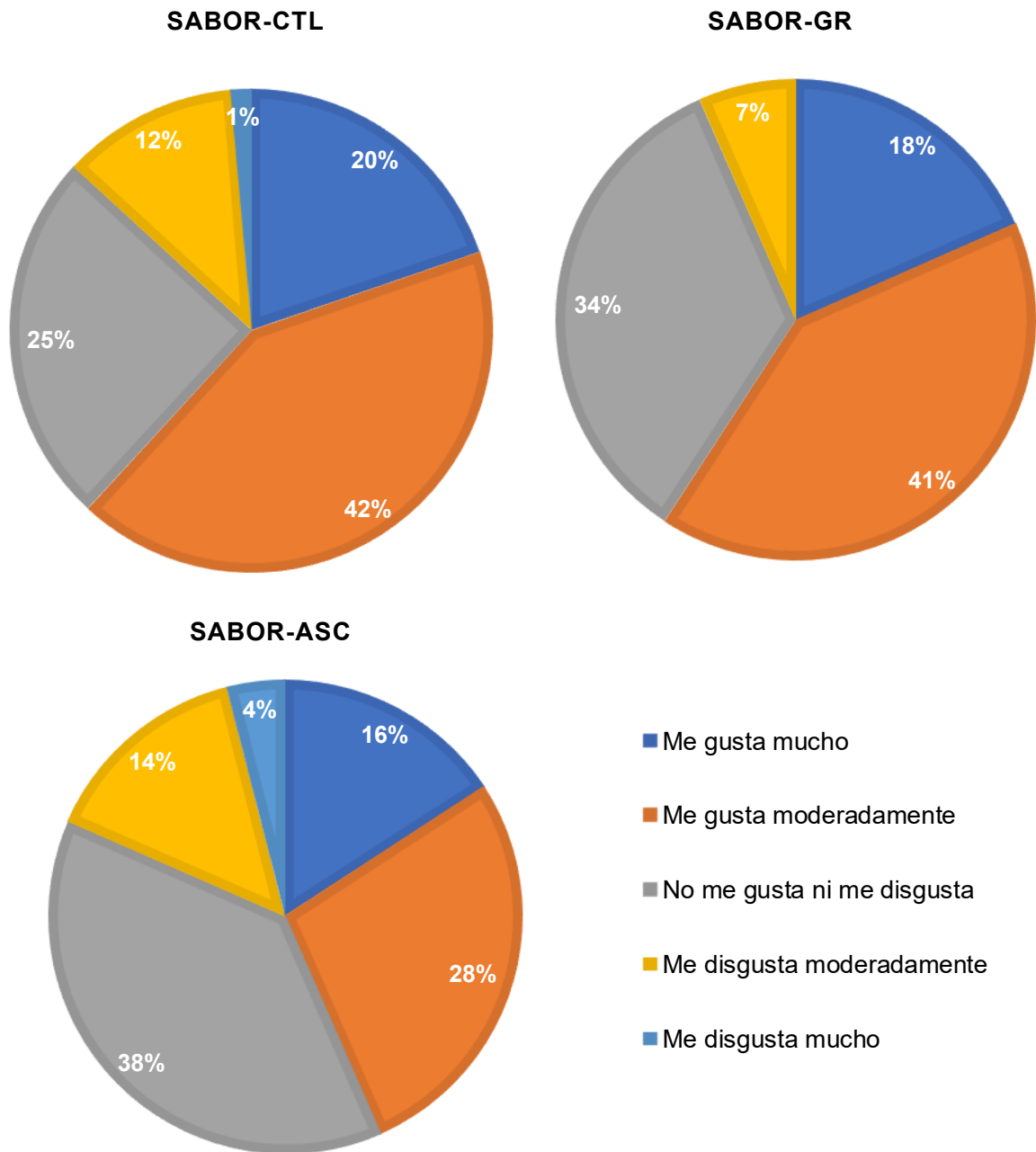


Figura 13: Porcentaje del nivel de agrado del atributo sabor según la escala hedónica para carne molida cocida (CTL, GR y ASC).

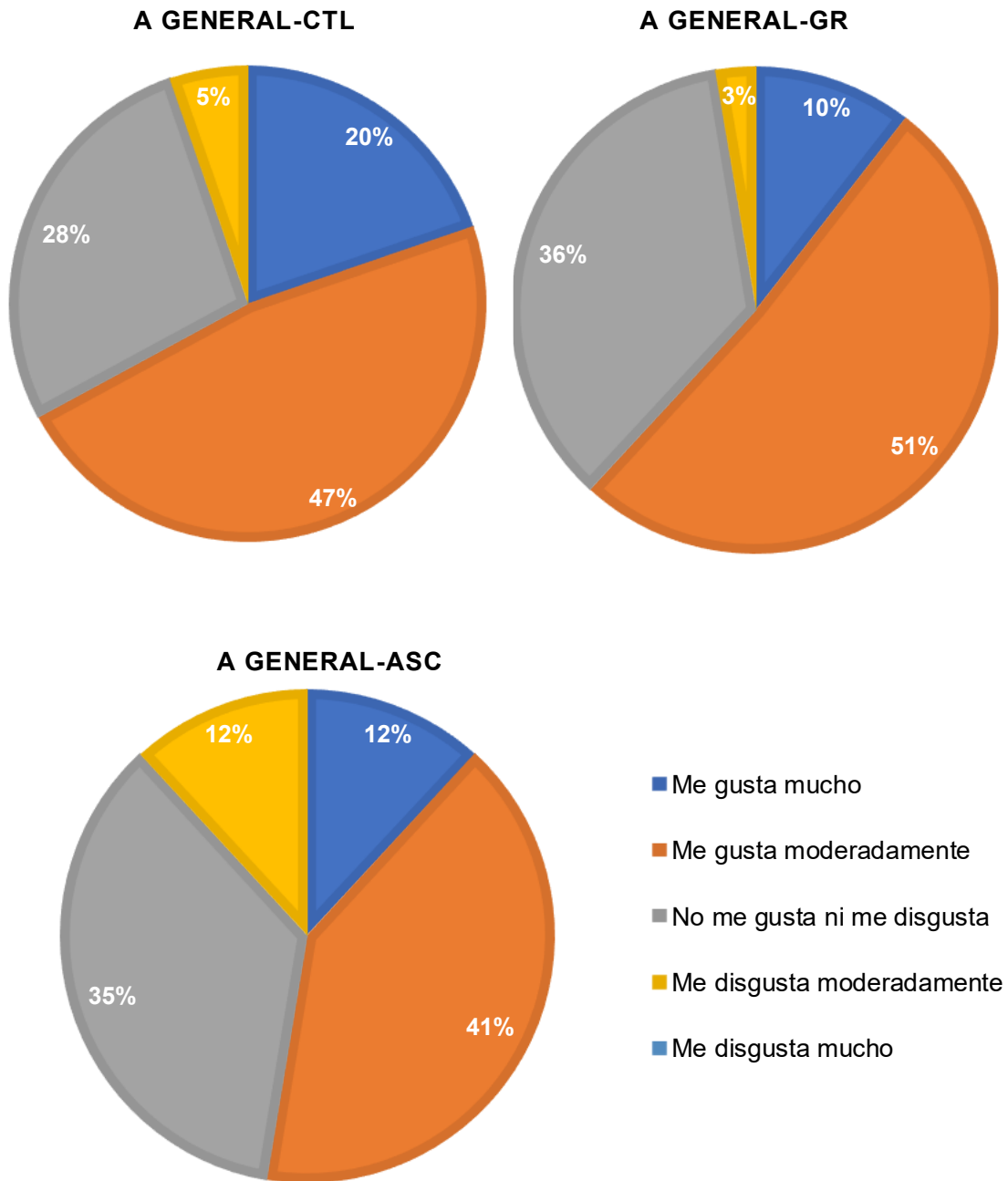


Figura 14: Porcentaje del nivel de agrado aceptabilidad general según la escala hedónica para carne molida cocida (CTL, GR y ASC).

9 CONCLUSIONES

1. Los extractos etanólicos del arilo de guamúchil (blanco, rojo y mezcla) presentaron actividad antioxidante *in vitro*, lo que supone la presencia de compuestos fenólicos con capacidad reductora.
2. El pH y la composición proximal de la carne no se vieron afectados por la incorporación de los extractos, lo cual confirma que su incorporación no altera las características fisicoquímicas del producto cárnico.
3. En la carne molida cruda, los extractos de guamúchil mostraron una protección moderada en la mioglobina. Sin embargo, el tratamiento con el extracto de guamúchil rojo presentó el menor porcentaje de metamioglobina ($\approx 34\%$), lo que indica una mayor estabilidad del color en comparación con los demás extractos.
4. En la carne molida cruda, el extracto de guamúchil rojo aportó una mayor estabilidad lipídica (menor contenido de malondialdehído), observándose valores similares al tratamiento con el antioxidante sintético (ascorbato de sodio).
5. En carne cocida, los extractos de guamúchil presentaron una capacidad antioxidante débil, insuficiente para considerarse un inhibidor efectivo de la oxidación lipídica.
6. La evaluación sensorial de la carne molida cocida mostró que el tratamiento con extracto de guamúchil rojo fue sensorialmente aceptado por la mayoría de los panelistas, presentando en los atributos de color, olor, sabor y aceptabilidad general una distribución de respuestas predominantemente en la categoría “me gusta moderadamente”, con valores comparables al control negativo. Estos resultados confirman que el extracto de guamúchil rojo puede emplearse como antioxidante natural en carne molida cocida sin comprometer de manera significativa sus características sensoriales.

10 REFERENCIAS

1. Ahn, J., Gruñ, I. U., Gruñ, G., & Mustapha, A. (2004). Antimicrobial and Antioxidant Activities of Natural Extracts *In Vitro* and in Ground Beef. In *Journal of Food Protection* (Vol. 67, Issue 1).
2. Alemán-Ramírez, J. L., Okoye, P. U., Torres-Arellano, S., & Sebastian, P. J. (2024). Challenges and prospects in energetic application of *Pithecellobium dulce*
3. (Roxb.) Benth as a bioenergy tree. In *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* (Vol. 18, Issue 5, pp. 1658–1675). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/bbb.2601>
4. Alfonso-Acosta, F., Ramírez-Aguirre, M. D., Montiel-López, R., Tejada-Ortigoza, V. A., García-Cayuela. Tomás, & Garcia-Amezquita, L. E. (2023). Characterization of guamuchil (*Pithecellobium dulce*) pod fractions and obtention of protein concentrates as proteinal ingredients for the food industry. *Heliyon*. <https://ssrn.com/abstract=4468434>
5. Altmann, B. A., Gertheiss, J., Tomasevic, I., Engelkes, C., Glaesener, T., Meyer, J., Schäfer, A., Wiesen, R., & Mörlein, D. (2022). Human perception of color differences using computer vision system measurements of raw pork loin. *Meat Science*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108766>
6. AMSA. (2012). AMSA. <http://www.meatscience.org>
7. Antończyk, A., Mika, M., & Wikiera, A. (2023). Influence of Synthetic Antioxidants Used in Food Technology on the Bioavailability and Metabolism of Lipids – *In Vitro* Studies. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 73, 95–107. <https://doi.org/10.31883/pjfns/161366>
8. Bellucci, E. R. B., Bis-Souza, C. V., Domínguez, R., Bermúdez, R., & Barretto, A. C. da S. (2022). Addition of Natural Extracts with Antioxidant Function to Preserve the Quality of Meat Products. In *Biomolecules* (Vol. 12, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/biom12101506>
9. Bertelli, A., Biagi, M., Corsini, M., Bains, G., Cappellucci, G., & Miraldi, E. (2021). Polyphenols: From theory to practice. In *Foods* (Vol. 10, Issue 11). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods10112595>
10. Brodowska, M., Guzek, D., Godziszewska, J., Górka-Horczyczak, E., Pogorzelska, E., Sakowska, A., Wojtasik-Kalinowska, I., Gantner, M., & Wierzbicka, A. (2017). Cherry (*Prunus cerasus cv Montmorency*) extract with standardised antioxidant potential as preservative for refrigerated storage of ground pork. *International*

- Journal of Food Science and Technology*, 52(12), 2555–2563.
<https://doi.org/10.1111/ijfs.13541>
11. 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* (Vol. 8, Issue 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/antiox8100429>
 12. Esazadeh, K., Ezzati Nazhad Dolatabadi, J., Andishmand, H., Mohammadzadeh-Aghdash, H., Mahmoudpour, M., Naemi Kermanshahi, M., & Roosta, Y. (2024). Cytotoxic and genotoxic effects of tert-butylhydroquinone, butylated hydroxyanisole and propyl gallate as synthetic food antioxidants. In *Food Science and Nutrition* (Vol. 12, Issue 10, pp. 7004–7016). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4373>
 13. Estévez, M. (2011). Protein carbonyls in meat systems: A review. In *Meat Science* (Vol. 89, Issue 3, pp. 259–279). <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.025>
 14. Estévez-Moreno, L. X., & Miranda-de la Lama, G. C. (2022). Meat consumption and consumer attitudes in México: Can persistence lead to change? *Meat Science*, 193. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108943>
 15. Falowo, A. B., Fayemi, P. O., & Muchenje, V. (2014). Natural antioxidants against lipid-protein oxidative deterioration in meat and meat products: A review. In *Food Research International* (Vol. 64, pp. 171–181). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.022>
 16. Flores-Jiménez, N. T., Ulloa, J. A., & Urías-Silvas, J. E. (2024). Assessment of the physicochemical, functional and structural characteristics of a defatted flour from guamuchil (*Pithecellobium dulce* (Roxb.) seeds. *Future Foods*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100351>
 17. Gómez, I., García-Varona, C., Curiel-Fernández, M., & Ortega-Heras, M. (2020). Effects of an extract from olive fruits on the physicochemical properties, lipid oxidation and volatile compounds of beef patties. *Foods*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/foods9121728>
 18. Gómez-Cárdenas, M., Freitas-Macedo, E., & Rubio-Lozano, S. (2013). Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4, 255–270. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=265628467006>
 19. Grassi, G., Di Gregorio, P., Rando, A., & Perna, A. M. (2024). Quality and sensorial evaluation of beef burgers added with Sicilian sumac (*Rhus coriaria* L). *Heliyon*, 10(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26848>

20. Hernández Salueña, B., Sáenz Gamasa, C., Diñeiro Rubial, J. M., & Alberdi Odriozola, C. (2019). CIELAB color paths during meat shelf life. *Meat Science*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.107889>
21. Hernández-Neri, Ayala-Martínez Maricela, Soto-Simental Sergio, Zepeda-Bastida Armando, Ocampo-López Juan, & Apáez-Barrios Jairo. (2021). Nutritional composition of *pithecellobium dulce*, guamuchil aril. *Boletín De Ciencias Agropecuarias Del ICAP*, 7(13), 4–6. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.29057/icap.v7i13.6007>
22. Hoa, V. B., Cho, S. H., Seong, P. N., Kang, S. M., Kim, Y. S., Moon, S. S., Choi, Y. M., Kim, J. H., & Seol, K. H. (2021). The significant influences of pH, temperature and fatty acids on meat myoglobin oxidation: a model study. *Journal of Food Science and Technology*, 58(10), 3972–3980. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04860-1>
23. Huang, X., & Ahn, D. U. (2019). Lipid oxidation and its implications to meat quality and human health. In *Food Science and Biotechnology* (Vol. 28, Issue 5, pp. 1275–1285). The Korean Society of Food Science and Technology. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00631-7>
24. Ivanov, Y., Godjevargova, T., Atanasova, M., & Nakov, G. (2025). The Effect of Grape Seed Extract on Lipid Oxidation, Color Change, and Microbial Growth in a Beef–Pork Sausage Model System. *Molecules*, 30(8). <https://doi.org/10.3390/molecules30081739>
25. Kahl, R., & Kappus, H. (1993). Übersichtsarbeit Toxikologie der synthetischen Antioxidantien BHA und BHT im Vergleich mit dem natürlichen Antioxidans Vitamin E Toxicology of the synthetic antioxidants BHA and BHT in comparison with the natural antioxidant vitamin E. In *Z Lebensm Unters Forsch* (Vol. 196).
26. Kanner, J. (1994). Oxidative Processes in Meat and Meat Products: Quality Implications. In *Meat Science* (Vol. 36).
27. Kim, S. J., Min, S. C., Shin, H. J., Lee, Y. J., Cho, A. R., Kim, S. Y., & Han, J. (2013). Evaluation of the antioxidant activities and nutritional properties of ten edible plant extracts and their application to fresh ground beef. *Meat Science*, 93(3), 715–722. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.11.029>
28. Kutlu, N., Pandiselvam, R., Kamiloglu, A., Saka, I., Sruthi, N. U., Kothakota, A., Socol, C. T., & Maerescu, C. M. (2022). Impact of ultrasonication applications on

- color profile of foods. In *Ultrasonics Sonochemistry* (Vol. 89). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106109>
29. Lonergan, S. M., Topel, D. G., & Marple, D. N. (2019). Fresh and cured meat processing and preservation. In *The Science of Animal Growth and Meat Technology* (pp. 205–228). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815277-5.00013-5>
 30. López-Angulo, G., Montes-Avila, J., Sánchez-Ximello, L., Díaz-Camacho, S. P., Miranda-Soto, V., López-Valenzuela, J. A., & Delgado-Vargas, F. (2018). Anthocyanins of *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. Fruit Associated with High Antioxidant and α -Glucosidase Inhibitory Activities. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73(4), 308–313. <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0693-y>
 31. Lorenzo, J. M., Pateiro, M., Domínguez, R., Barba, F. J., Putnik, P., Kovačević, D. B., Shpigelman, A., Granato, D., & Franco, D. (2018). Berries extracts as natural antioxidants in meat products: A review. *Food Research International*, 106, 1095–1104. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.005>
 32. Mancini, R. A., & Hunt, M. C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*, 71(1), 100–121. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.003>
 33. Meat Science Association, A. (2012). *AMSA Meat Color Measurement Guidelines*. <http://www.meatscience.org>
 34. Megala, J., & Geetha, A. (2010). Free radical-scavenging and H⁺, K⁺-ATPase inhibition activities of *Pithecellobium dulce*. *Food Chemistry*, 121(4), 1120–1128. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.059>
 35. Mendoza-Martínez, E. (2010). Productos cárnicos. In McGraw Hill (Ed.), *Bromatología: Composición y propiedades de los alimentos* (1st ed., pp. 163–176). <https://koha.uneatlantico.es/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=2016>
 36. Monroy, R., & Colín, H. (2004). El guamúchil *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth, un ejemplo de uso múltiple. In *35 Madera y Bosques* (Vol. 10, Issue 1).
 37. Motoyama, M., Kobayashi, M., Sasaki, K., Nomura, M., & Mitsumoto, M. (2010). Pseudomonas spp. convert metmyoglobin into deoxymyoglobin. *Meat Science*, 84(1), 202–207. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.050>
 38. Murugesan, S., Lakshmanan, D. K., Arumugam, V., & Alexander, R. A. (2019). Nutritional and therapeutic benefits of medicinal plant *Pithecellobium dulce* (Fabaceae): A review. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 9(7), 130–139. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2019.90718>

39. Olivas-Aguirre, F., González-Aguilar, G. A., & Wall-Medrano, A. (2018). Guamúchil *Pithecellobium dulce* (Roxb) Benth. In *Alimentos vegetales autóctonos iberoamericanos subutilizados* (Primera).
40. Orădan, A. C., Tocai, A. C., Rosan, C. A., & Vicas, S. I. (2024). Fruit Extracts Incorporated into Meat Products as Natural Antioxidants, Preservatives, and Colorants. In *Processes* (Vol. 12, Issue 12). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/pr12122756>
41. Pateiro, M., Gómez-Salazar, J. A., Jaime-Patlán, M., Sosa-Morales, M. E., & Lorenzo, J. M. (2021). Plant extracts obtained with green solvents as natural antioxidants in fresh meat products. In *Antioxidants* (Vol. 10, Issue 2, pp. 1–21). MDPI. <https://doi.org/10.3390/antiox10020181>
42. Pío-León, J. F., Díaz-Camacho, S., Montes-Avila, J., López-Angulo, G., & Delgado-Vargas, F. (2013). Nutritional and nutraceutical characteristics of white and red *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth fruits. *Fruits*, 68(5), 397–408. <https://doi.org/10.1051/fruits/2013084>
43. Poveda-Arteaga, A., Krell, J., Gibis, M., Heinz, V., Terjung, N., & Tomasevic, I. (2023). Intrinsic and Extrinsic Factors Affecting the Color of Fresh Beef Meat—Comprehensive Review. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 7). MDPI. <https://doi.org/10.3390/app13074382>
44. Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Revisión Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutr Hosp*, 27(1), 76–89. <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.1.5418>
45. Rao, G. N., Nagender, A., Satyanarayana, A., & Rao, D. G. (2011). Preparation, chemical composition and storage studies of quamachil (*Pithecellobium dulce* L.) aril powder. *Journal of Food Science and Technology*, 48(1), 90–95. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0135-9>
46. Rojas, M. C., & Brewer, M. S. (2007). Effect of natural antioxidants on oxidative stability of cooked, refrigerated beef and pork. *Journal of Food Science*, 72(4). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00335.x>
47. Saha, J., Debnath, M., Saha, A., Ghosh, T., & Sarkar, P. K. (2011). Response surface optimisation of extraction of antioxidants from strawberry fruit, and lipid peroxidation inhibitory potential of the fruit extract in cooked chicken patties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(10), 1759–1765. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4374>

48. Sánchez-Escalante, A., Djenane, D., Gastón Torrescano, G., José´antonio, J., Beltraín, B., & Roncale´s, P. R. (2001). The effects of ascorbic acid, taurine, carnosine and rosemary powder on colour and lipid stability of beef patties packaged in modified atmosphere. www.elsevier.com/locate/meatsci
49. Secretaría de Salud. (2018). *NORMA Oficial Mexicana NOM-213-SSA1-2018, Productos y servicios. Productos cárnicos procesados y los establecimientos dedicados a su proceso. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5556645&fecha=03/0...
50. Shahiduzzaman, M., Biplob, M., Hashem, M., & Rahman, M. (2024). Effects of natural and synthetic antioxidant on the quality of beef in short-term preservation. *Meat Research*, 4(6). <https://doi.org/10.55002/mr.4.6.107>
51. Sun, S., Liu, Z., Lin, M., Gao, N., & Wang, X. (2024). Polyphenols in health and food processing: antibacterial, anti-inflammatory, and antioxidant insights. In *Frontiers in Nutrition* (Vol. 11). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1456730>
52. Unruh, D. A., Kastner, J. J., Jenott, J. R., & Gragg, S. E. (2016). Handling of hamburgers and cooking practices. In *Food Hygiene and Toxicology in Ready-to-Eat Foods* (pp. 107–122). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801916-0.00007-8>
53. Ursachi, C. Ştefan, Perţa-Crişan, S., & Munteanu, F. D. (2020). Strategies to improve meat products' quality. In *Foods* (Vol. 9, Issue 12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods9121883>
54. Valenzuela, M., Montalvo-Navarro, C., Cumplido-Barbeitia, G., González-Ríos, H., Montoya-Ballesteros, L. del C., Pérez-Báez, A. J., & Zamorano-García, L. (2022). Uso de un diseño de mezclas para el desarrollo de hamburguesas de carne de bovino, con un perfil nutricional mejorado con harina de linaza, pulpa de mango y ciruela deshidratada. *Biotechnia*, 24(1), 97–106. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v24i1.1534>
55. Vargas-Madriz, Á. F., Kuri-García, A., Vargas-Madriz, H., Chávez-Servín, J. L., Ferriz-Martínez, R. A., Hernández-Sandoval, L. G., & Guzmán-Maldonado, S. H. (2020). Phenolic profile and antioxidant capacity of *Pithecellobium dulce* (Roxb) Benth: a review. In *Journal of Food Science and Technology* (Vol. 57, Issue 12, pp. 4316–4336). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04453-y>

56. Venegas Fornias, O., & Valladares Díaz, C. (1999). CLASIFICACIÓN DE LOS PRODUCTOS CÁRNICOS. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 13, 63–67. <https://www.researchgate.net/publication/237517413>
57. Wall-Medrano, A., González-Aguilar, G. A., Loarca-Piña, G. F., López-Díaz, J. A., Villegas-Ochoa, M. A., Tortoledo-Ortiz, O., Olivas-Aguirre, F. J., Ramos-Jiménez, A., & Robles-Zepeda, R. (2016). Ripening of *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth. [Guamúchil] Fruit: Physicochemical, Chemical and Antioxidant Changes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(4), 396–401. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0575-0>
58. Waqar, M., Nimra Sajjad, Manat Chaijan, Nurul Hawa Ahmad, Hamza Ayub, Aamina Jamil, & Maryam shahid. (2025). Polyphenols as Natural Antioxidants: Mechanisms and Applications in Meat and Fish Preservation. *International Journal of Food*, 2(1), 65–79. <https://doi.org/10.51200/ijf.v2i1.5426>
59. Wojtaszek, A., Salejda, A. M., Nawirska-Olszańska, A., Zambrowicz, A., Szmaja, A., & Ambrozik-Haba, J. (2024). Physicochemical, Antioxidant, Organoleptic, and Anti-Diabetic Properties of Innovative Beef Burgers Enriched with Juices of Açai (*Euterpe oleracea Mart.*) and Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides L.*) Berries. *Foods*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/foods13193209>
60. Zafra Ciprián, D. I., Nevárez Moorillón, G. V., Soto Simental, S., Guzmán Pantoja, L. E., López Hernández, L. H., Santiago Castro, J. T., & Villalobos Delgado, L. H. (2023). Ataulfo Mango (*Mangifera indica L.*) Peel Extract as a Potential Natural Antioxidant in Ground Beef. *Processes*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/pr11061772>
61. Zhu, W., Han, M., Bu, Y., Li, X., Yi, S., Xu, Y., & Li, J. (2024). Plant polyphenols regulating myoglobin oxidation and color stability in red meat and certain fish: A review. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 64, Issue 8, pp. 2276–2288). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2122922>

ANEXOS

PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO DE CARNE MOLIDA

Nombre: _____ Edad: _____ Fecha: _____

Serie I

Instrucciones:

Tiene frente a usted tres muestras de carne molida, cada una con un código de tres cifras. Pruebe cada muestra en el orden de izquierda a derecha y marque en la escala el número que mejor refleje su agrado en los diferentes atributos. Recuerde enjuagarse la boca con agua antes de pasar a la siguiente muestra.

Nivel de agrado	Puntaje
Me gusta mucho	5
Me gusta moderadamente	4
No me gusta ni me disgusta	3
Me disgusta moderadamente	2
Me disgusta mucho	1

Atributo	731	459	160
Color			
Olor			
Sabor			
Aceptabilidad general			

Comentarios: _____

¡MUCHAS GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN!

PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO DE CARNE MOLIDA

Nombre: _____ Edad: _____ Fecha: _____

Serie II

Instrucciones:

Tiene frente a usted tres muestras de carne molida, cada una con un código de tres cifras. Pruebe cada muestra en el orden de izquierda a derecha y marque en la escala el número que mejor refleje su agrado en los diferentes atributos. Recuerde enjuagarse la boca con agua antes de pasar a la siguiente muestra.

Nivel de agrado	Puntaje
Me gusta mucho	5
Me gusta moderadamente	4
No me gusta ni me disgusta	3
Me disgusta moderadamente	2
Me disgusta mucho	1

Atributo	820	159	473
Color			
Olor			
Sabor			
Aceptabilidad general			

Comentarios: _____

¡MUCHAS GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN!

NO REPRODUCIR

Todos los derechos reservados

Ninguna parte de este Trabajo Profesional puede reproducirse o transmitirse bajo forma o por ningún medio, electrónico ni mecánico, incluyendo fotocopiado o grabación, ni por ningún sistema de almacenamiento y recuperación de información, sin permiso por escrito del autor.

IMPRESO EN MEXICO/PRINTED IN MEXICO

POR: **IMPRIMAX** (IMPRESIONES Y EMPASTADOS
Expertos en Tesis DE TESIS)

DIRECCIONES:

- **MATRIZ** Priv. de Margaritas N° 101
Col. Ex marquezado. Oaxaca, Oax.
- **SUCURSAL MADERO** Calz. Madero 943 "A"
Col. Ex marquezado. Oaxaca, Oax.
- **SUCURSAL C.U** Av. universidad N° 307
a 3 locales de Dominos Pizza. Oaxaca, Oax.

Tel. (951) 51 6 70 64

Tel. (951) 51 2 72 80

Tel. (951) 207 10 64

Cel (044) 951 199 03 69 y (044) 951 134 20 47



tesis_imprimax@hotmail.com



<http://tesisimprimax.wixsite.com/home>