



**Centro de Investigación en Alimentación y
Desarrollo, A.C.**

**EFFECTOS DE HARINA DE LINAZA, PULPA DE MANGO Y
CIRUELA DESHIDRATADA SOBRE LA CALIDAD DE
HAMBURGUESAS DE RES**

Por:

Carlos Antonio Montalvo Navarro

TESIS APROBADA POR LA

COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRÍA EN CIENCIAS

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Carlos Antonio Montalvo Navarro, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias



Dr. Martín Valenzuela Melendres
Director de Tesis



Dr. Juan Pedro Camou Arriola
Integrante del comité de tesis



Dr. Humberto González Ríos
Integrante del comité de tesii



Dra. Luz del Carmen Montoya Ballesteros

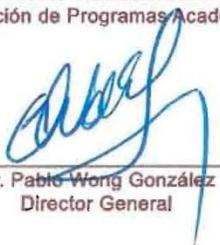
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis “Efectos de Harina de Linaza, Pulpa de Mango y Ciruela Deshidratada Sobre la Calidad de Hamburguesas de Res” es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor Carlos Antonio Montalvo Navarro, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa autorización escrita del manuscrito en cuestión del director(a) de tesis.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN
ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.
Coordinación de Programas Académicos



Dr. Pablo Wong González
Director General

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado durante estos dos años, el cual fue indispensable para poder realizar mis estudios de posgrado.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C.), por permitirme formar parte de su programa de posgrado, por darme la oportunidad de llevar a cabo mis estudios de maestría y a mis profesores por su paciencia, esfuerzo y dedicación durante las clases impartidas A la Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal (CTAOA), por permitirme trabajar en esta área de investigación, así como por su apoyo académico y administrativo otorgado.

A mi Director de Tesis, Dr. Martin Valenzuela Melendres. La primera vez que llegué a su oficina estaba angustiado porque me encontraba en una situación difícil, pero usted me abrió las puertas a su equipo, eso lo recordaré siempre. Muchas gracias por su confianza, por sus enseñanzas como profesor, por los regaños, las risas, los consejos y por ser mi amigo.

A mi comité de tesis, Dr. Juan Pedro Camou, Dr. Humberto González y Dra. Luz del Carmen Montoya por apoyarme y dedicar tiempo a mi trabajo de investigación, gracias además por consejos y contribuciones que me compartieron. A todos y cada uno de ustedes, muchas gracias.

Al I. Q. Germán Cumplido Barbeitia por su apoyo en planta piloto y por los consejos que compartió conmigo durante mi trabajo.

Al Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Carne, a la Q.B. Thalía Islava por su gran paciencia y por su apoyo en el laboratorio de carnes. A la M.C. Libertad Zamorano por la asesoría otorgada durante la realización de mis análisis sensoriales y por su confianza.

A mi tía Maricela Montalvo Corral, no encuentro las palabras para agradecerte todo el apoyo que me diste estos dos años tan importantes de mi vida, gracias por ser mi tía, amiga, psicóloga, consejera, mi ejemplo en todos los aspectos (laboral, familiar, personal, etc.) y sobre todo por ser tan amorosa conmigo y tratarme como uno más de la familia, nunca me sentí solo y a pesar de mis problemas personales siempre supieron sacarme una sonrisa. Ustedes han marcado mi vida para siempre, los amo con todo mi corazón abuela Lichita, Amelita, tío Edgar y tío Ciro.

A mis amigos Josep, Leo, Martín, Antonio, Héctor, Daniel, Giovanna, Michelle, Melissa, Jannel, Carmen, Picazo, Jorge, Sastré, Jessica, Cristina, Omar, Dalia, Estefany, Maleja, Enis, Conchita, Shain

A mis compañeros en el grupo de carnes Alejandro Fregoso, Ramsés Cruz, Anna Báez, Julio Gonzales, Mario Chocoza, Ana Laura, Francisco Alday, Ana Tanori, Ángeles López, Imanol Quintana, Cynthia y Nayelli por su amistad.

Al grupo de panelistas y a los que me apoyaron durante mi análisis sensorial de este proyecto; Carmen Manzanarez, Adilene Mendoza, Ana Tanori, José Isidro, Karen, Julio, Ángeles, Antonio Lugo, Melvin, Michelle, Héctor, Josep, Luis Gerardo, Daniel González, Omar Granillo, Mario, Martín, Shain y Conchita. Muchas gracias a todos.

DEDICATORIA

A mi madre Marina Navarro Palacios por ser mi apoyo incondicional. Mamá bella, hoy cierro un capítulo más en mi vida profesional y me siento muy feliz de poder compartir contigo este momento tan importante. Siempre has estado a mi lado, dándome los mejores consejos que solo una super mamá como tu puede dar, también eres mi ejemplo a seguir porque siempre muy trabajadora y diste todo de ti para que nosotros viviéramos una vida plena y llena de comodidades, forjaste en mi esa actitud trabajadora, me siento muy orgulloso de ser tu hijo

A mi padre Gerardo Montalvo Navarro por motivarme a emprender y a superarme en mis ambiciones. Papá, siempre he visto en ti esa pasión por la tecnología, por la innovación y por la ciencia y eso me motiva a crecer y convertirme en un gran científico. Muchas gracias por tus enseñanzas.

A mi hermano Gerardo Montalvo Navarro, gracias por las llamadas, mensajes y por escucharme cuando lo necesitaba, gracias por ser un amigo y por todos los momentos (bueno y malos) que hemos afrontado. Siempre estaré para ti cuando me necesites. A mi hermana Ofelia Montalvo Navarro por ser estar al pendiente de mi y por ser mi ejemplo de que con esfuerzo y dedicación puedo llegar tan lejos como tú los has hecho. ¡Puros éxitos!

A mi tía Maricela Montalvo Corral, que siempre estuvo pendiente de mí y fue un apoyo enorme en todos los aspectos durante mis estudios de posgrado. Gracias por todo, te admiro mucho.

CONTENIDO

APROBACIÓN	2
DECLARACIÓN INSTITUCIONAL	3
AGRADECIMIENTOS	4
DEDICATORIA	6
CONTENIDO	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE CUADROS	10
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
1. INTRODUCCIÓN	13
2. ANTECEDENTES	15
2.1 Productos Cárnicos Saludables	15
2.2 Etiqueta Limpia	17
2.3 Ácidos Grasos y su Efecto en la Salud.....	20
2.3.1 Modificación de Ácidos Grasos en Carnes Procesadas.....	21
2.3.2 Harina de Linaza.....	22
2.4 Aditivos e Ingredientes Naturales en Productos Cárnicos.....	23
2.4.1 Ingredientes Naturales	24
2.4.2 Mango.....	24
2.4.3 Ciruela Deshidratada	27
2.5 Metodología de Superficie de Respuesta.....	28
2.5.1 Diseño de Mezclas.....	29
3. HIPÓTESIS	32
4. OBJETIVOS	33
4.1 Objetivo General	33
4.2 Objetivos Específicos.....	33
5. MATERIALES Y MÉTODOS	34
5.1 Materiales e Ingredientes Utilizados	34
5.2 Elaboración del Producto	35
5.3 Evaluación de la Calidad de Hamburguesas de Res	36
5.3.1 Determinación del Color Instrumental	36
5.3.2 Determinación de pH.....	37
5.3.3 Rendimiento de Cocción y Encogimiento.....	38
5.3.4 Análisis de Perfil de Textura.....	38
5.3.5. Análisis Sensorial.....	39
5.4 Análisis Estadístico de los Datos.....	40
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41

CONTENIDO (continuación)

6.1 Modelos de Predicción de Color Instrumental, pH, RC y EC.....	41
6.2 Modelos de Predicción de Perfil de Textura	50
6.3 Modelos de Predicción del Análisis Sensorial	55
6.4 Optimización y Validación de Modelos de Regresión.	61
7. CONCLUSIÓN.....	63
8. RECOMENDACIONES.....	64
9. BIBLIOGRAFÍA.....	65

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Proceso esquemático para obtener un producto cárnico funcional.....	16
2	Estrategias de producción de un alimento cárnico funcional postmortem.....	18
3	Aplicación de compuestos fitoquímicos en productos alimenticios.....	26
4	Gráfico de contorno de diseño de mezclas de tres componentes en la formulación de hamburguesas de res.....	37
5	Gráfico de contorno de diseño de mezclas para color instrumental.....	44
6	Gráfico de contorno de diseño de mezclas para pH, rendimiento de cocinado (RC) y encogimiento por cocción (EC).....	47
7	Gráfico de correlaciones de Pearson entre pH y rendimiento de cocinado (RC).....	49
8	Gráfico de correlaciones de Pearson entre pH y encogimiento por cocción (EC).....	49
9	Gráfico de contorno de diseño de mezclas para perfil de textura: dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad.....	54
10	Gráfico de contorno de diseño de mezclas para atributos sensoriales: color en crudo, color en cocinado, sabor, terneza y jugosidad.....	59
11	Gráfico de la asociación lineal entre: a^* y color en crudo; sabor y pH; encogimiento y jugosidad.....	60

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composición de las mezclas en hamburguesas de res formuladas con harina de linaza, pulpa de mango y ciruela deshidratada en un diseño de mezclas simplex centroide de tres componentes.....	35
2	Color instrumental, pH, rendimiento de cocinado y encogimiento por cocción (media \pm DE) de tratamientos derivados del diseño de mezclas simplex centroide	42
3	Coefficientes de regresión significativos para parámetros de color instrumental, pH, rendimiento de cocinado y encogimiento por cocción de hamburguesas de res.....	43
4	Perfil de textura (media \pm DE) de tratamientos derivados del diseño de mezclas simplex centroide.....	51
5	Coefficientes de regresión significativos para el perfil de textura de hamburguesas de res.....	52
6	Atributos sensoriales (media \pm DE) de hamburguesas de res adicionadas con harina de linaza, pulpa de mango y ciruela deshidratada del diseño de mezclas simplex centroide.....	56
7	Coefficientes de regresión significativos para el análisis sensorial de hamburguesas de res.....	57
8	Valores predichos vs. valores experimentales de parámetros fisicoquímicos y sensoriales de hamburguesas de res	62

RESUMEN

Las hamburguesas son una excelente fuente de nutrientes, pero al ser productos cárnicos procesados su consumo se ha relacionado con diversas enfermedades debido a su alto contenido de grasa, colesterol, sal y antioxidantes sintéticos. La incorporación de ingredientes no tradicionales puede ser una opción para disminuir el contenido de grasa y sal con el incremento en compuestos antioxidantes, considerando a su vez la calidad final del producto. En este trabajo se estudiaron los efectos e interacciones de harina de linaza (HL), pulpa de mango (PM) y ciruela deshidratada (CD) sobre la calidad de hamburguesas de res. Se utilizó un diseño de mezclas *simplex centroide*, donde se midió color instrumental, pH, rendimiento de cocinado (RC), encogimiento por cocción (EC), se realizó un análisis de perfil de textura (APT) y se realizó un análisis sensorial descriptivo. El análisis estadístico consistió en el ajuste de las variables de respuesta a un modelo predictivo polinomial de segundo orden, para estimar las significancias de los factores estudiados y sus interacciones (ANOVA), y obtener las condiciones óptimas de estos a través de la metodología de superficie de respuesta. La formulación óptima fue predicha estableciendo los objetivos deseados de calidad y validada experimentalmente. Se realizó un análisis de correlaciones de Pearson para determinar la asociación entre las variables de respuesta. Los valores L^* , a^* y b^* aumentaron al incorporar HL y PM y disminuyeron al incorporar CD. El pH aumentó por la incorporación de HL y disminuyó por la incorporación de PM y CD. La HL aumentó los valores de RC y disminuyó el EC, mientras que la PM y CD tuvieron un efecto contrario. Se encontró una correlación positiva entre pH-RC y una correlación negativa entre pH-EC. La incorporación de PM y CD aumentó los valores del APT, mientras que la HL disminuyó los valores del APT. Los atributos sensoriales también se vieron afectados por estos ingredientes, la HL aumentó el color en crudo y cocinado, pero disminuyó el sabor, la terneza y jugosidad, mientras que la PM aumentó todos los atributos sensoriales y la CD aumentó el sabor, la terneza y jugosidad. La formulación óptima incluyó 6% HL, 9% PM y 5% CD con una deseabilidad general de 0.601. El diseño de mezclas fue apropiado para predecir los parámetros de calidad, con este enfoque se generó una formulación con características de calidad aceptables que puede ser consumida como alternativa una hamburguesa comercial.

Palabras claves: Hamburguesas, linaza, diseño de mezclas, metodología de superficie de respuesta

ABSTRACT

Beef patties are an excellent source of nutrients, however as processed meat products their consumption have been related to several diseases due to their high content of fat, cholesterol, salt and synthetic antioxidants. Addition of non-conventional ingredients can improve the nutritional quality of these foods. In this work, we studied the effects of the incorporation of golden flaxseed (GF), mango pomace (MP) and dried plum (DP) in beef patties. A *simplex centroid* mixture design matrix was performed, where evaluated measurements were instrumental colour (L^* , a^* , b^* values), pH, cooking yield (CY), shrinkage (SK), texture profile analysis (TPA) and descriptive sensory evaluation. Statistical analysis consisted in the response variables fitted to a polynomial second order predicting model, to estimate significances of the studied factors and their interactions (ANOVA) and obtain their optimal conditions through the response surface methodology. The optimum formulation was predicted setting the desired goals of quality and was experimentally validated. A Pearson correlation analysis was also performed to determine the association between the studied response variables. L^* , a^* and b^* values increased by the addition of GF and MP, while DP decreased them. Values for pH increased by the addition of GF and decreased by the addition of MP and DP. Addition of GF increased the cooking yield and decreased shrinkage, while MP and DP had a contrary effect. Correlation analysis displayed positive correlation between pH-CY and negative correlation between pH-SK. Incorporation of MP and DP increased the TPA values, while addition of GF decreased all the TPA values. During sensory analysis, GF increased the score for raw and cooked colour, but decreased the score for flavour, tenderness and juiciness, while MP increased all the scores for sensory attributes and DP increased the scores for flavour, tenderness and juiciness. Optimum formulation contained 6% GF 9% MP and 5% DP with a general desirability of 0.601. Mixture design was suitable to predict desirable quality parameter, a formulation with improved nutritional characteristics and equivalent quality to commercial beef patties was generated.

Key words: beef patties, golden flaxseed, mixture design, response surface methodology

1. INTRODUCCIÓN

La producción de carne tiene un peso importante en la economía de México, ya que en 2017 esta actividad se posicionó en el primer lugar dentro del valor de la producción agropecuaria. El consumo de carne en México se estima en 1.9 millones de toneladas para el año 2020, siendo la carne molida la segunda de mayor demanda después del bistec de res (Multimedios, 2017; USDA, 2019). La carne molida es utilizada para la preparación de alimentos como picadillo, albóndigas y hamburguesas. De acuerdo al Código de Regulaciones Federales (9CFR §319.5c), una hamburguesa se define como: “carne de res picada fresca y/o congelada con o sin adición de grasa de res como tal y/o condimentos. Los ligadores, extensores o tejido graso parcialmente desgrasado pueden usarse con o sin agua adicionada solo en cantidades tales que las características del producto sean esencialmente las de una hamburguesa” (Kotzekidou, 2016).

La hamburguesa es una excelente fuente de proteínas de alto valor biológico, ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales. Su incremento de producción en establecimientos de comida rápida en el mundo, su conveniencia y bajo precio la han posicionado como uno de los productos cárnicos procesados más populares del mundo (Selani *et al.*, 2016). Sin embargo, la hamburguesa es un producto cárnico procesado y como tal su consumo se ha asociado a enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer, debido principalmente a su contenido de grasas saturadas, colesterol y sal (do Prado *et al.*, 2019). Ante estas situaciones, los consumidores se han vuelto más conscientes respecto a una dieta saludable, demandando productos con un perfil de lípidos mejorado, reducidos en colesterol y sodio, y adicionados con ingredientes con probado efecto benéfico en la salud (do Prado *et al.*, 2019), además de una lista de ingredientes corta, fácil de leer y entender.

La adición de ingredientes no tradicionales como aceites vegetales, fibra o compuestos bioactivos ha resultado una estrategia exitosa para mejorar el perfil nutricional y para ser utilizados como conservadores naturales en productos como las hamburguesas (Botez *et al.*, 2017). Entre los ingredientes con potencial para desarrollar productos cárnicos con una connotación más saludable se encuentran la harina de linaza, la pulpa de mango y la ciruela deshidratada. La harina de linaza es una excelente fuente de ácidos grasos omega-3, destacando el ácido linolénico con un 57% del total de los ácidos grasos, compuesto conocido por reducir niveles de colesterol y brindar

beneficios a la salud (Bilek *et al.*, 2009). Sin embargo, no ha sido posible incorporar más del 3% en la formulación de productos cárnicos debido a un detrimento en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales. Por otra parte, el mango y la ciruela deshidratada son fuente de antioxidantes como compuestos fenólicos, carotenoides y vitamina C, además de fibra dietética (Jarvis *et al.*, 2015; Torres-León *et al.*, 2016), y su incorporación en productos cárnicos mejoran las propiedades sensoriales, sin un efecto marcado en las características fisicoquímicas (Yıldız-Turp *et al.*, 2010). Se ha reportado la adición de estos ingredientes en carnes procesadas para mejorar sus propiedades nutricionales y tecnológicas. Por ejemplo, se ha incorporado harina de linaza como ingrediente en hamburguesas, obteniendo un producto con un mejor perfil de lípidos, pero un problema persistente es el detrimento en sus propiedades sensoriales y una mayor susceptibilidad al deterioro de los ácidos grasos Valenzuela-Melendres *et al.* (2018). Por otra parte, diversos estudios han demostrado que la pulpa de mango es rica en compuestos antioxidantes que pueden ser incorporados para superar el problema de la oxidación de ácidos grasos poliinsaturados, además de que pueden contribuir con mejores propiedades sensoriales (Bhat *et al.*, 2017; Hung Minh Le, 2012). Por otro lado, la funcionalidad de la ciruela deshidratada sobre productos cárnicos ha sido reportada por diversos investigadores, destacando su efecto positivo en parámetros sensoriales como la textura, jugosidad y sabor (Jarvis *et al.*, 2015). Es posible aprovechar las ventajas de estos alimentos, optimizando su adición en la formulación cárnica buscando maximizar la incorporación de linaza, y en consecuencia el contenido de ácidos grasos poliinsaturados, con el menor impacto en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales al utilizar pulpa de mango y ciruela deshidratada.

Determinar los efectos e interacciones entre múltiples ingredientes sobre la calidad de un producto cárnico es complicado si no se utiliza la estrategia metodológica adecuada (Botez *et al.*, 2017). La metodología de superficie de respuesta es una técnica matemática que permite optimizar la incorporación de nuevos ingredientes y ha sido utilizada con éxito en el desarrollo de nuevos productos cárnicos (Keenan *et al.*, 2014; Valenzuela-Melendres *et al.*, 2014). El objetivo del presente estudio fue diseñar un producto cárnico tipo hamburguesa con la combinación de harina de linaza, pulpa de mango y ciruela deshidratada sin demérito en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales.

2. ANTECEDENTES

2.1 Productos Cárnicos Saludables

Un "alimento funcional" debe tener componentes con un efecto selectivo en una o varias funciones del organismo, cuyos efectos positivos pueden justificarse como funcionales (fisiológicamente) o incluso saludables. Los alimentos funcionales, más allá de proveer las funciones nutricionales básicas, están diseñados para tener beneficios fisiológicos y/o reducir el riesgo de enfermedades crónicas, y pueden ser similares en apariencia a los alimentos convencionales y consumirse como parte de una dieta regular. Existen tres requerimientos básicos a considerarse al diseñar un alimento funcional (Zhang *et al.*, 2010):

1. Incluir ingredientes naturales
2. Poder consumirse como parte de una dieta diaria
3. Prevenir el riesgo de enfermedades y/o mejorar la actividad inmunológica

Para reemplazar las propiedades no saludables de los productos cárnicos como el alto contenido de grasa saturada, colesterol o sodio, estrategias como la reformulación del producto con aceites, fibra o compuestos bioactivos han sido investigadas. El proceso para diseñar y desarrollar un producto cárnico funcional (Beriain *et al.*, 2018) se ilustra en la **Figura 1**. En lo que respecta al desarrollo de productos cárnicos que promuevan la salud, en su fase *postmortem*, las estrategias se centran en tres puntos diferentes:

1. Los centrados en la formulación/reformulación para mejorar el perfil lipídico
2. Los que buscan reducir el contenido de sodio o conservadores sintéticos
3. Los enfocados en la adición de compuestos bioactivos no cárnicos o compuestos bioactivos naturales.

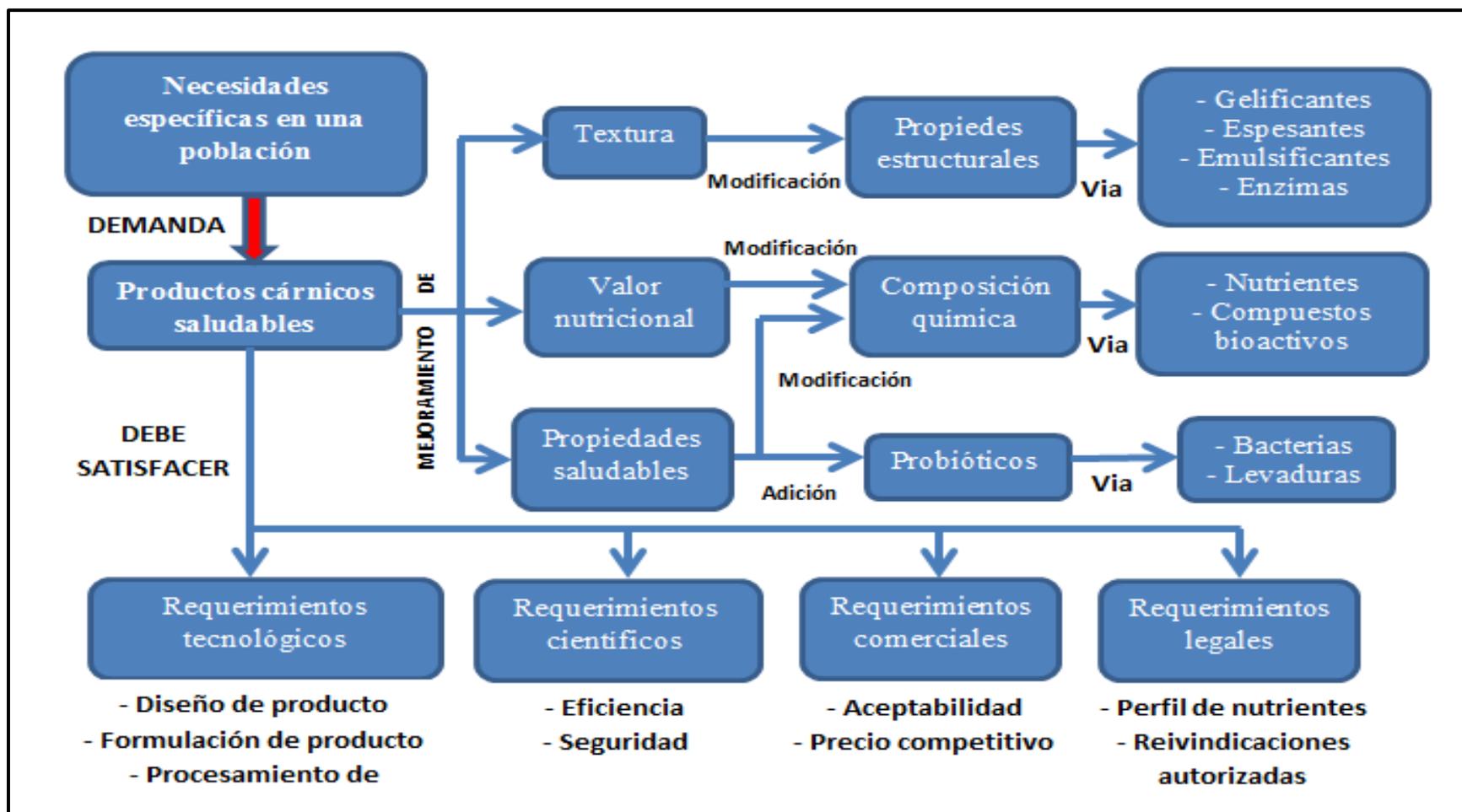


Figura 1. Proceso esquemático para obtener un producto cárnico funcional

La **Figura 2** resume las estrategias de producción de un alimento cárnico funcional *postmortem* (Beriain *et al.*, 2018). Los compuestos derivados de plantas se encuentran ampliamente disponibles y son una potencial fuente de compuestos bioactivos. La incorporación de estos ingredientes bioactivos, como agentes antimicrobianos y antioxidantes en productos cárnicos tradicionales, potenciará los efectos en salud de los consumidores. Compuestos como polifenoles, licopenos o luteínas han demostrado no solo reducir la oxidación de lípidos, sino también tener beneficios a la salud. Adicionalmente, los polifenoles como las catequinas, ácido ascórbico o los extractos y aceites esenciales de hierbas o especias son ampliamente conocidos por sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antifúngicas.

2.2 Etiqueta Limpia

Los consumidores de alimentos son el último paso dentro de la cadena de producción de alimentos y por ello es importante entender los factores que afectan su comportamiento hacia un producto. Entre los factores que afectan el comportamiento de los consumidores se encuentran factores ambientales (implicaciones de contaminación ambiental por producción intensiva), factores específicos del alimento (palatabilidad, color y textura) y factores individuales (creencias, actitudes y expectativas del producto). Los factores individuales se encuentran fuertemente relacionados a la calidad del alimento, su palatabilidad y a su composición en términos de ingredientes, con lo cual los consumidores perciben sus propiedades nutricionales y saludables (Beriain *et al.*, 2018). Debido a que una de las mayores preocupaciones se relaciona al uso de aditivos y colorantes sintéticos en los alimentos, se ha reportado que los consumidores tienden a evitar estos productos y optar por otros más “limpios”, por lo cual la industria de los alimentos ha respondido a la demanda desarrollando productos alimenticios con mejores características, denominados productos con etiqueta limpia.

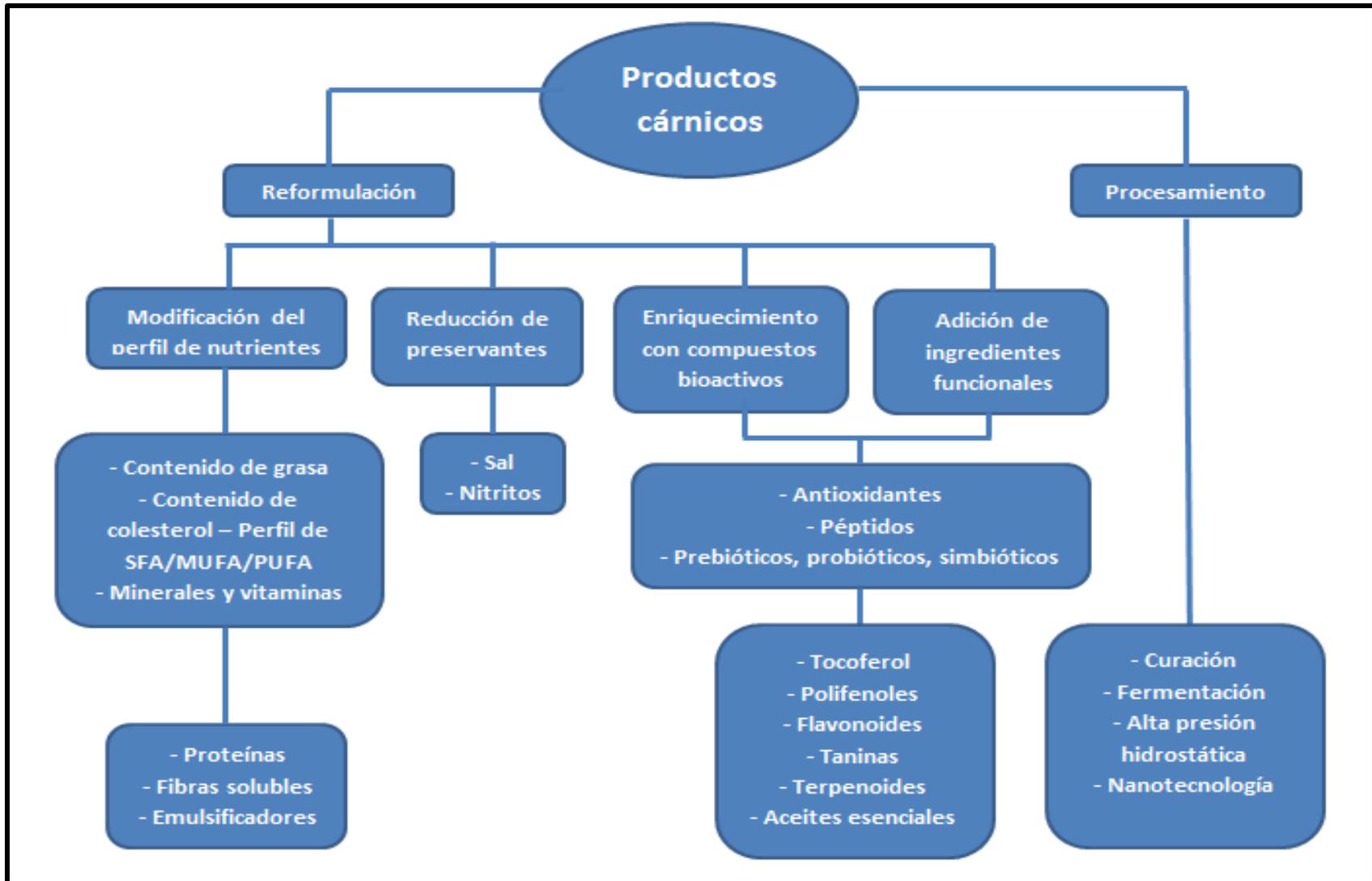


Figura 2. Estrategias de producción de un alimento cárnico funcional *postmortem*

El término de etiqueta limpia surgió por primera vez en los años ochenta, debido a que una parte de los consumidores asociaba ciertos ingredientes alimentarios a enfermedades y alergias. Sin embargo, el uso del término explotó drásticamente hace diez años y ha sido utilizado por una multitud de industrias alimentarias como respuesta a la demanda de los consumidores (Grant *et al.*, 2017). Un producto con etiqueta limpia se caracteriza por tener una lista de ingredientes corta, simple, sin connotaciones químicas, con ingredientes encontrados en una cocina que sean reconocibles (Asioli *et al.*, 2017). La tendencia de etiqueta limpia ha sido confirmada por diversos estudios, los cuales muestran que entre las diez tendencias que afectan la industria alimentaria en el nuevo milenio, existe una tendencia alta en optar por alimentos orgánicos y naturales, sin conservadores o con atributos negativos, por ejemplo alimentos altos en grasa o azúcar (Asioli *et al.*, 2017). Tales alimentos están basados en el supuesto de que los consumidores clasifican los ingredientes de acuerdo a si parecen naturales y conocidos, o procesados y no naturales, de manera que perciben favorablemente a los primeros y evitan los segundos (Grant & Parveen, 2017)

Una investigación realizada por Aschemann-Witzel y colaboradores en 2019 tuvo como objetivo explorar la percepción de consumidores respecto a un alimento suplementado con proteína de papa como un ingrediente sustituto de ingredientes tradicionales. En dicha investigación se concluyó que los consumidores categorizan a los ingredientes utilizados en tres grupos: 1) la categoría a la cual pertenecen (naturales o sintéticos), 2) la función que tienen en el producto y 3) su atributo (negativo o positivo). En este estudio, la proteína fue calificada como inocua, básica y natural (Aschemann-Witzel *et al.*, 2019).

Un caso de desarrollo de hamburguesas con etiqueta limpia fue el realizado por Sephora y colaboradores en 2016. Durante esta investigación, se suplementaron hamburguesas de res con proteínas de chicharos, de arroz y de lentejas a niveles de inclusión de 3% y 7% y se estudiaron los parámetros tecnológicos y la vida de anaquel durante 12 días de almacenamiento. Los resultados obtenidos demostraron que las proteínas de arroz y de lenteja fueron los ingredientes que enriquecieron mayormente el contenido de proteínas y la textura de las hamburguesas de res, resultando en un alimento con potencial para disminuir enfermedades relacionadas al envejecimiento (como la sarcopenia) en adultos mayores (Sephora *et al.*, 2016)

2.3 Ácidos Grasos y su Efecto en la Salud

Los ácidos grasos son los componentes estructurales básicos de los lípidos y se encuentran formados por una larga cadena hidrocarbonada lineal; Su clasificación está en función de la presencia de dobles enlaces en sus moléculas, pudiendo ser ácidos grasos saturados (sin dobles enlaces) o insaturados (con dobles enlaces). Los ácidos grasos insaturados pueden ser a su vez ácidos grasos mono-insaturados (con un doble enlace) o ácidos grasos poli-insaturados (con dos o más dobles enlaces). Los ácidos grasos saturados (AGS) incrementan el colesterol transportado en las lipoproteínas de baja densidad (LDL-C) y de las lipoproteínas de alta densidad (HDL), los ácidos grasos poli-insaturados (AGP) reducen ambas fracciones y los ácidos grasos mono-insaturados (AGM) disminuyen la fracción transportada en las LDL, sin modificar o incrementar la contenida en las HDL.

En la carne molida de res predominan los ácidos grasos monoinsaturados y saturados, siendo estos últimos perjudiciales para la salud del corazón. La Asociación Americana del Corazón recomienda limitar el consumo de grasa saturada de 5% a 6% de la ingesta calórica diaria, esto se traduce en alrededor de 13 gramos de grasa saturada por día si se cuenta con una dieta de 2000 calorías diarias. En contexto, una hamburguesa clásica de 4-6 onzas puede aportar entre 6.7 y 10 g de grasa saturada por hamburguesa (American Heart Association, 2020).

Debido a los efectos benéficos observados por el consumo de AGP, la reformulación de productos cárnicos busca modificar el contenido lipídico de carnes procesadas con alto contenido de AGS aumentando el contenido de AGP. Dentro de los AGP existen dos familias (Fernández *et al.*, 2011):

- Omega-6 (o n-6): enlace doble en el carbono 6
- Omega-3 (o n-3): enlace doble en el carbono 3

Las grasas omega-3 son ácidos grasos esenciales que no son sintetizados por el cuerpo y deben consumirse de la dieta, como el ácido eicosapentanoico (EPA) y docosahexanoico (DHA), que se encuentran presentes en aceite de pescado. Asimismo, estos pueden ser sintetizados por fuentes vegetales como el lino y la nuez a partir de ácido alfa-linolénico. Se piensa que el DHA tiene un papel principal en la protección de enfermedades cardiovasculares. Entre algunos beneficios del consumo de ácidos grasos omega-3 se han reportado los siguientes (Dunbar *et al.*, 2014):

- Baja incidencia de enfermedades cardiovasculares

- Reducción de la muerte en pacientes supervivientes de infarto de miocardio.
- Reducción de la insuficiencia cardíaca crónica y prevención de enfermedades cardiovasculares
- Efectos antiinflamatorios
- Efectos antiobesogénicos
- Mejoramiento de funciones endoteliales
- Reducción de presión arterial
- Disminución de triglicéridos
- Reducción de riesgo de trombosis
- Disminución de arritmia cardíaca
- Inhibición en desarrollo de cáncer de piel

2.3.1 Modificación de Ácidos Grasos en Carnes Procesadas

Incrementar la fuente de ácidos grasos omega-3 en carnes procesadas puede realizarse por medio de dos estrategias (Ansorena *et al.*, 2013):

1. Nutrición animal con dietas enriquecidas de omega-3
2. Incluir ingredientes ricos en omega-3 en la formulación de la carne

Este último punto ha sido ampliamente investigado desde al año 2000, utilizando diferentes ingredientes y técnicas. Los principales enfoques tecnológicos son la adición directa de semillas, vegetales o aceites ricos en omega-3 (aceites vegetales, aceite de pescado y aceite de algas) y, especialmente en los últimos años, el uso de aceites pre-emulsionados que se han convertido en una buena alternativa tecnológica (Ansorena & Astiasarán, 2013).

Una manera de mejorar el valor nutricional de un producto cárnico procesado, es la reducción de contenido de grasa combinado con un ajuste en el perfil de ácidos grasos (modificación de lípidos). Normalmente, esto puede lograrse reduciendo el contenido de AGS en combinación con incrementar los niveles AGM y los AGP; en otras palabras, incrementar la cantidad de ácidos grasos Omega-3 puede reducir la relación n-6/n-3 y contribuir a la reducción de enfermedades (Heck *et al.*, 2017). Por ejemplo, el efecto benéfico de la sustitución parcial de grasa animal con

aceite de pescado en hamburguesas de res fue investigado por Keenan y colaboradores en 2015, resultando en un mejoramiento de su perfil lipídico, aunque comprometiendo su análisis sensorial (Keenan *et al.*, 2015).

Generalmente, el ingrediente agregado confiere una sustitución parcial de la grasa animal en la formulación de la carne procesada, pero algunas veces el objetivo es la sustitución parcial de la grasa junto con la reducción de la misma. Además, se han utilizados antioxidantes en conjunto para estabilizar el proceso de oxidación relacionado al incremento de AGP, debido a su alta susceptibilidad a oxidarse comparado a los AGS y AGM. En este sentido, aunque los antioxidantes sintéticos se han utilizado con éxito, las tendencias actuales se centran en la búsqueda de antioxidantes naturales obtenidos principalmente de fuentes vegetales (Ansorena & Astiasarán, 2013).

2.3.2 Harina de Linaza

La linaza es una semilla oleaginosa (proveniente de la planta *Linum usitatissimum*) utilizada en productos de distintos sectores industriales. La linaza es una excelente fuente de ácidos grasos omega-3 (ácido α -linolénico), convirtiéndolo en un potencial ingrediente funcional para alimentos. Además, la linaza también se utiliza en nutrición animal para mejorar el desarrollo reproductivo y la salud (Singh *et al.*, 2011). Reemplazar la grasa animal por ingredientes ricos en omega-3 puede ser una alternativa para obtener productos cárnicos más saludables. La linaza es interesante para esta sustitución, ya que contiene alrededor de 60% de ácido α -linolénico (omega-3) en su perfil lipídico. Autores como Bilek-Turhan (2009) o Valenzuela-Melendres y colaboradores (2018) utilizaron linaza como sustituto de grasa animal, obteniendo un producto con alto contenido de AGP sobre AGS y una baja relación n-6/n-3, demostrando así que esta semilla puede ser un buen sustituto de la grasa animal. Sin embargo, a pesar de los beneficios demostrados, se han reportado aspectos tecnológicos y sensoriales negativos (Bilek & Turhan, 2009; Valenzuela-Melendres *et al.*, 2018).

En otro estudio desarrollado por Heck y colaboradores en 2017, se reformularon hamburguesas reemplazando la mitad de su contenido de grasa animal con micropartículas de chía y linaza para

evaluar sus propiedades fisicoquímicas, su perfil de lípidos y sus características sensoriales. Los resultados obtenidos de esta investigación demostraron que la sustitución del 50% de la grasa animal de las hamburguesas con micropartículas de chía modificó atributos sensoriales de las hamburguesas, pero la sustitución con micropartículas de linaza no generó pérdidas en la calidad sensorial y además mejoró su perfil de lípidos significativamente (Heck *et al.*, 2017).

Además, se ha estudiado el efecto sinérgico de la adición de harina de linaza con otros alimentos funcionales. En un estudio desarrollado por Valenzuela-Melendres y colaboradores en 2017, se evaluaron las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y nutricionales de hamburguesas de res adicionadas con linaza y pasta de tomate. Se determinó que una adición de 10% de cada uno de estos ingredientes presentaba una mayor aceptabilidad sensorial por parte de los panelistas y que una proporción entre 15-20% de pasta de tomate no modificaba atributos sensoriales comparados con el tratamiento control. Por otra parte, un incremento en la proporción de harina de linaza mejoró parcialmente el perfil de lípidos, pero disminuyó atributos sensoriales y fisicoquímicos (Valenzuela-Melendres *et al.*, 2018).

La modificación del perfil lipídico puede generar cambios adversos en las propiedades tecnológicas y sensoriales del producto (por una mayor susceptibilidad de oxidación de AGP) y la alternativa tradicional para minimizar los cambios indeseables es el uso de aditivos sintéticos. Por ello, con el fin de disminuir o evitar estos cambios, se ha propuesto la incorporación de ingredientes naturales como fibras o extractos vegetales que mejoran la retención de grasa y agua, su integridad estructural y sus capacidades antioxidantes, además de convertirlo en un producto más saludable (Afshari *et al.*, 2017).

2.4 Aditivos e Ingredientes Naturales en Productos Cárnicos

Los aditivos son materiales aplicados durante el desarrollo de un producto alimenticio para incrementar, recuperar o mejorar atributos como sabor, color, textura, firmeza y vida útil. Los aditivos se encuentran entre las sustancias más investigadas en el mundo y han sido ampliamente utilizados en la industria de procesamiento de carnes para reducir los costos de producción y mejorar la funcionalidad de los productos (Feiner, 2006). Entre los aditivos utilizados para

productos cárnicos se incluyen fosfatos, sales, hidrocoloides, conservadores (nisina, ácido sórbico y ácido benzoico), glutamato monosódico, proteínas vegetales y carbohidratos, entre otros. Debido a la controversia generada respecto al consumo de aditivos sintéticos como nitritos y antioxidantes, la industria de productos cárnicos ha tomado la iniciativa hacia el desarrollo de productos funcionales utilizando compuestos naturales. Un ejemplo de ello es el proyecto “Phytome” que pretende desarrollar nueva tecnología en el procesamiento de carnes para obtener productos con niveles bajos o nulos de nitritos implementando fitoquímicos (**Figura 3**), los cuales son compuestos biológicamente activos originados de extractos de hierbas, vegetales o frutas y son conocidos por tener efectos benéficos a la salud, además de poseer actividad antimicrobiana y prolongar la vida útil de los alimentos (Torres-León *et al.*, 2016).

2.4.1 Ingredientes Naturales

El uso de compuestos naturales en productos cárnicos surge como una buena alternativa para reducir el consumo de aditivos sintéticos, ya que estos son consumidos mundialmente y se han relacionado efectos negativos a la salud (Nikmaram *et al.*, 2018). Las investigaciones actuales en ciencia de la carne se han enfocado en el uso de compuestos naturales como extractos de especias, residuos vegetales o frutos como agentes antioxidantes en productos cárnicos. Se ha observado que este tipo de compuestos pueden ser utilizados en distintos productos cárnicos, entre ellos los procesados, sin generar pérdidas en la calidad, vida de anaquel y siendo comparables a los antioxidantes sintéticos (Ribeiro *et al.*, 2019).

2.4.2 Mango

El Mango (*Mangifera indica*) es una de las frutas tropicales más importantes en el mundo debido a su sabor, aroma y valor nutricional. Es rico en agua, azúcares, fibra, minerales, vitaminas y antioxidantes. México es el mayor exportador con 287,771 toneladas por año. Se estima que

alrededor del 35-60% de la fruta se descarta como desperdicio después de su procesado. En el caso particular de la semilla, estas son procesadas como desperdicio sin utilizarse con fines comerciales (Torres-León *et al.*, 2016). Los componentes del mango pueden agruparse en macronutrientes (carbohidratos, proteínas, aminoácidos, lípidos, ácidos grasos y ácidos orgánicos), micronutrientes (vitaminas y minerales) y fitoquímicos (compuestos fenólicos, polifenoles, pigmentos y constituyentes volátiles) (Maldonado-Celis *et al.*, 2019). El uso apropiado de mango como ingrediente alimentario podría generar aumentos económicos en la industria alimentaria, contribuyendo a la reducción o sustitución de alimentos convencionales, promoviendo la salud y reduciendo problemas ambientales. Se han investigado los potenciales terapéuticos de los compuestos encontrados en el mango, entre ellos se han reportado efectos antimicrobianos, antiinflamatorios, antidiabéticos, inmunomoduladores, antioxidantes y anticancerígenos (Asif *et al.*, 2016).

El mango tiene poca cantidad de proteínas, pero la composición de aminoácidos esenciales de sus proteínas es de buena calidad. Por su parte, los lípidos predominantes son el ácido esteárico y oleico. Otra ventaja importante de los lípidos de mango es que no contienen ácidos grasos trans, responsables del desarrollo de enfermedades (Torres-León *et al.*, 2016).

Asimismo, el mango es considerado como una fuente rica en compuestos antioxidantes, entre ellos importantes compuestos bioactivos como la mangiferina, ácido gálico y la quercentina que pueden ser incorporados como ingredientes funcionales en alimentos (Torres-León *et al.*, 2016). El deterioro o rancidez de un alimento es un proceso inevitable ocasionado por un incremento de sustancias producidas durante la oxidación de componentes alimenticios. Al ser un alimento rico en proteínas y grasa, la carne es altamente susceptible al deterioro oxidativo y por ello es necesaria la adición de antioxidantes que retarden este proceso.

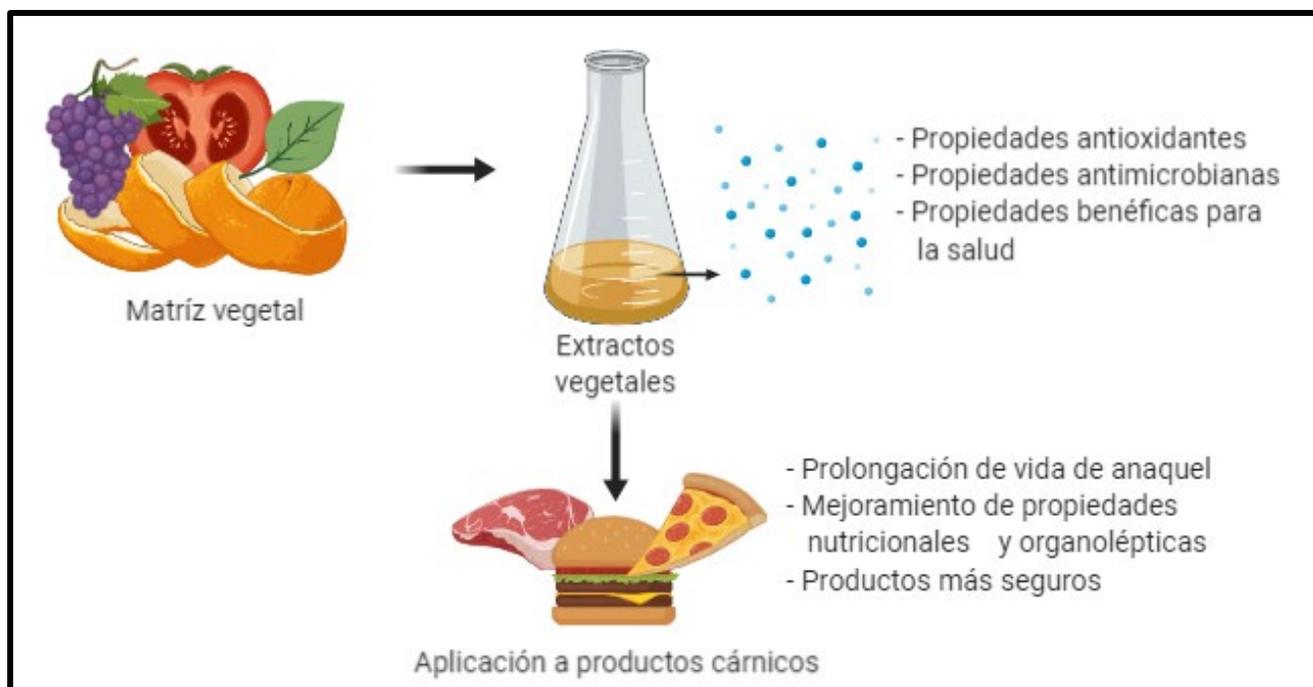


Figura 3. Aplicación de compuestos fitoquímicos en productos cárnicos

El efecto de los compuestos del mango sobre la actividad tumoral ha sido estudiado por distintos grupos de trabajo, donde se han propuesto mecanismos por los cuales los polisacáridos presentes en la pulpa de mango pueden contribuir a una reducción de la progresión tumoral: 1) reducción de las especies reactivas de oxígeno por su efecto antioxidante, 2) inhibición de la proliferación celular descontrolada, 3) inducción de la apoptosis de células tumorales, 4) inhibición de la metástasis tumoral, 5) estimulación de la respuesta inmune y 6) inhibición de la tumorigénesis (Hu *et al.*, 2018). Diversos estudios han encontrado compuestos con propiedades anticancerígenas en mangos, un ejemplo es el efecto citotóxico de un extracto de mango sobre el cáncer de mama. El autor describe que el efecto citotóxico del extracto contra células tumorales puede deberse a una actividad sinérgica entre ácido fumárico, fenoles y ácido dodecanoico presentes en el extracto (Al *et al.*, 2014). A partir de estas investigaciones se confirman las evidencias epidemiológicas indicando que una dieta rica en frutas o verduras ricas en antioxidantes reducen significativamente el riesgo de padecer distintos tipos de cáncer (Kumar *et al.*, 2019).

El uso del mango como aditivo en productos cárnicos ha sido reportado por algunos investigadores. En un estudio desarrollado por Bhat y colaboradores en 2017, se utilizó polvo de cáscara de mango para evaluar las condiciones de almacenamiento de chuletas de pollo a 4 °C por 10 días. Los

resultados mostraron que la oxidación de lípidos y el conteo total en placa (TPC) se encontraba arriba del límite en los productos control, pero todos los productos tratados con el polvo de cáscara de mango se encontraban dentro de los límites (Bhat *et al.*, 2017). En otro estudio desarrollado por Pereira y colaboradores en 2011, se comparó el efecto en el cambio de pH, oxidación lipídica y color (coordenadas L^* , a^* y b^*) de mortadelas almacenadas por 21 días a 2 °C, utilizando extracto de semilla de mango (MSE) e hidroxitolueno butilado (BHT) como antioxidantes en concentraciones de 0.1% y 0.2%. Los tratamientos con 0.1% MSE tuvieron un mayor pH que los tratamientos con 0.1% BHT después de los 14 días de almacenamiento y la actividad antioxidante fue similar o superior entre los tratamientos con MSE, además de que se mantuvo un color rojizo en el alimento (Pereira *et al.*, 2011).

2.4.3 Ciruela Deshidratada

La ciruela es un fruto que pertenece al subgénero *Prunus*, del género *Prunus* de árboles y arbustos en la familia Rosaceae. La ciruela deshidratada (CD), obtenida del proceso de deshidratación del fruto, contiene aproximadamente 45% de glucosa, 25.4% de fructosa y 28.5% de sorbitol, siendo este último componente una molécula con efectos laxantes. La ciruela deshidratada ha sido investigada por sus potenciales actividades antimutagénicas, sus beneficios a tejido óseo y los beneficios que brindan su alta cantidad de compuestos antioxidantes en la dieta, entre los cuales se encuentran los compuestos fenólicos en una mayor proporción. Recientemente, se ha investigado el efecto de la adición ciruela deshidratada sobre diversos productos alimenticios, en los cuales la adición de este fruto ha mejorado propiedades fisicoquímicas y sensoriales (Jarvis *et al.*, 2015).

Diversos productos cárnicos como salchichas y hamburguesas han sido formulados con puré de ciruela deshidratada para mejorar las propiedades sensoriales y fisicoquímicas. Por ejemplo, se ha investigado el efecto de la adición de puré de ciruela deshidratada en salchichas de cerdo sobre sus propiedades sensoriales. Los resultados demostraron que la incorporación de 3% de CD fue equivalente al tratamiento control (con BHT/BHA), pero el sabor fue más aceptable a 6% de incorporación de CD (Nunez de Gonzalez *et al.*, 2008). Un segundo caso de incorporación de ciruela deshidratada es el reportado por Yildiz-Turp y Serdaroglu en 2010 en el cual se generaron

4 tratamientos: un control, 5% CD, 10% CD y 15% CD donde no se encontraron diferencias entre tratamiento respecto a la apariencia y color, sin embargo la formulación con 10% CD obtuvo mayor aceptabilidad sensorial por parte de panelistas. Adicionalmente, parámetros fisicoquímicos como textura, retención de agua y pérdida de peso por cocción de hamburguesas cocinadas ha sido equivalente a los tratamientos control con la incorporación de 3% CD y 6% CD (Yıldız-Turp & Serdaroglu, 2010). Además, la CD contiene altos niveles de ácidos orgánicos como ácido cítrico, benzoico, clorogénico y gálico, conocidos por ser incorporados en alimentos como aditivos y conservadores para prevenir su deterioro e incrementar su vida de anaquel contra patógenos transmitidos por alimentos como *L. monocytogenes*.

El desarrollo de productos cárnicos funcionales generalmente involucra la adición de dos o más ingredientes novedosos o no tradicionales, los cuales pueden generar cambios fisicoquímicos y/o sensoriales indeseables que son difíciles de evaluar en el producto si no se establece una estrategia metodológica adecuada (Botez *et al.*, 2017). La manera de solucionar el problema de encontrar las cantidades óptimas de cada ingrediente y la mezcla óptima entre ellos para obtener las características deseadas en el producto final es implementar un diseño experimental. Una estrategia que ha generado resultados satisfactorios en el proceso de formulación de productos cárnicos funcionales es el uso de la metodología de superficie de respuesta (Keenan *et al.*, 2014; Valenzuela-Melendres *et al.*, 2014).

2.5 Metodología de Superficie de Respuesta.

La metodología de superficie de respuesta (MSR) es la estrategia experimental y de análisis que permite resolver el problema de encontrar las condiciones de operación óptimas de un proceso, es decir, aquellas que dan por resultado “valores óptimos” de una o varias características de calidad del producto. La MSR implica tres aspectos a considerar para una optimización:

- Un diseño
- Un modelo
- Una técnica de optimización

El diseño y el modelo se piensan al mismo tiempo y dependen del tipo de comportamiento de la

respuesta. El modelo puede ser de primer o segundo orden (plano o curvo) y dependerá de que el diseño experimental utilizado pueda ajustarse a un modelo de regresión lineal múltiple (Gutiérrez Pulido *et al.*, 2004). El reemplazo de grasa animal por harinas o aceites vegetales en hamburguesas puede realizarse mediante MSR utilizando diferentes diseños. Un diseño central compuesto ha sido utilizado para describir el efecto de variables independientes y/o su interacción con las variables de respuesta, así como para optimizar las condiciones del proceso. Así, se han reportado diversas investigaciones de reformulación de productos cárnicos procesados para evaluar el efecto en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del producto por la adición varios ingredientes funcionales. Por ejemplo, la reformulación de hamburguesas de cerdo adicionando aceite de canola y una combinación de semillas-nueces (linaza, girasol, almendra) como sustituto de grasa saturada fue determinada para evaluar sus propiedades físicas y sensoriales, probando ser una herramienta útil para determinar las combinaciones óptimas de formulación (Akesowan, 2015). Otro ejemplo de aplicación es la predicción en la calidad de hamburguesas de res adicionadas con linaza y pasta de tomate, en las cuales se optimizaron las proporciones de estos ingredientes para evaluar el color, pH, textura y atributos sensoriales del producto (Valenzuela-Melendres *et al.*, 2014). Otro diseño en MSR muy utilizado es el diseño de mezclas, donde los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla y los niveles de dichos ingredientes no son independientes a diferencia de los del diseño factorial o central compuesto.

2.5.1 Diseño de Mezclas

En general, se supone que las características de calidad de una mezcla dependen de las proporciones con la que participan los ingredientes y no de la cantidad absoluta de ellos. Al plantear un experimento con mezclas se decide, en función de lo que se conoce del problema y el objetivo, las mezclas que se probaran para que al analizar los resultados se logren responder las preguntas planteadas. En general, en un problema de experimentos con mezclas se tendrán “q” componentes o ingredientes y cada tratamiento en el experimento consiste en una combinación particular o mezcla de dichos ingredientes (Gutiérrez Pulido & Salazar, 2004). Los dos tipos básicos de diseños para estudiar el efecto de los componentes de la mezcla sobre la respuesta son:

1. Diseño simplex-reticular

2. Diseño simplex-centroide

El diseño simplex-reticular incluye puntos en la frontera, pero si el experimentador desea hacer predicciones en el interior es recomendable agregar corridas que estén en el interior. En particular se sugiere agregar el centroide global y las mezclas localizadas en el centro y vértices. El diseño simplex-centroide se aplica con pocos componentes y consiste en 2^{q-1} puntos definidos. Por ejemplo, el simplex-centroide con $q=3$ incluye las mezclas:

$$(X_1, X_2, X_3) = (1,0,0)(0,1,0)(0,0,1)(0.5, 0.5,0)(0.5, 0,0.5)(0,0.5,0.5) \text{ y } (0.33,0.33,0.33)$$

Así, el objetivo del diseño de experimentos con mezclas es cuantificar la influencia de diferentes componentes sobre una respuesta, tanto en forma individual como en su acción conjunta, y se trata de modelar esta respuesta para predecirla en cualquier formulación posible y utilizar esos modelos con el propósito de encontrar la composición de la mezcla que proporcione mejores resultados (optimizar). Al tratarse de una optimización simultánea de múltiples respuestas, el diseño de mezclas genera un valor de deseabilidad global (en una escala de 0 a 1) del producto, del cual se busca obtener un valor cercano a 1 con el propósito de obtener el punto óptimo en cada respuesta. Un ejemplo de aplicación del diseño de mezclas es el reportado por Baugreet y colaboradores (2017) donde se optimizó la composición proteica de hamburguesas de res con proteína de arroz y harina de lenteja. En este estudio se generaron 17 corridas experimentales utilizando diferentes proporciones de carne de res, proteína de arroz y harina de lenteja para determinar la combinación más aceptable tecnológica y sensorialmente. Como resultado, obtuvieron que dos formulaciones conteniendo un promedio de 4-7% de harina de lenteja y 1-4% de proteína de arroz pueden elevar el contenido de proteínas en comparación con el tratamiento control, sin demerito en sus propiedades sensoriales y parámetros tecnológicos. Además, la aceptabilidad general por parte de los panelistas sobre las hamburguesas reformuladas fue superior comparado a hamburguesas convencionales, donde se destacó un mejor aroma y textura (Baugreet *et al.*, 2017). Otra aplicación es la reportada por Keenan y colaboradores (2014) donde se incorporó inulina (oligosacárido de origen vegetal) en salchichas de cerdo como reemplazo de grasa animal. El diseño consistió en 17

corridas experimentales donde cada corrida incluyó diferentes proporciones de grasa de cerdo y dos inulinas comerciales, considerando un total de 18.7% de grasa total en cada corrida. El uso del diseño de mezclas permitió reducir el número de experimentos y estudiar la mayor cantidad de ingredientes posible para identificar su impacto en la mezcla. A pesar de que se mejoró el perfil de lípidos de las salchichas, la adición de inulina como sustituto de grasa modificó la textura y atributos sensoriales de las salchichas (Keenan *et al.*, 2014).

3. HIPÓTESIS

Una hamburguesa de res puede mejorar su aporte nutricional por la incorporación de harina de linaza, pulpa de mango y ciruela deshidratada sin detrimento en sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Diseñar un producto cárnico tipo hamburguesa con harina de linaza, pulpa de mango y ciruela deshidratada sin demérito en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales.

4.2 Objetivos Específicos

- Estudiar las propiedades de color, textura, pH, rendimiento de cocción (RC), encogimiento y atributos sensoriales de hamburguesas de res adicionadas con harina de linaza, pulpa de mango y ciruela deshidratada, mediante modelos de regresión.
- Optimizar la incorporación de harina de linaza, pulpa de mango y ciruela deshidratada en hamburguesas de res en función de las propiedades de color, textura, pH, RC, encogimiento y atributos sensoriales, haciendo uso de los modelos de regresión.
- Validar la formulación óptima comparando los valores predichos por los modelos de regresión contra los valores experimentales de las determinaciones fisicoquímicas y sensoriales.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron los efectos individuales e interacciones de harina de linaza (HL), pulpa de mango (PM) y ciruela deshidratada (CD) sobre la calidad de hamburguesas de res mediante el uso de la MSR, utilizando para ello un diseño de mezclas *simplex centroide*. Los niveles de los factores fueron: HL (0 a 20%), PM (0 a 20%) y CD (0 a 20%) y con ellos se generaron 14 tratamientos o corridas experimentales (**Cuadro 1**). Los tratamientos con los límites máximos de incorporación de cada ingrediente y el correspondiente a la mezcla de partes iguales (punto central del diseño), fueron repetidos durante el experimento. Las mediciones realizadas fueron: color instrumental, pH, rendimiento de cocción (RC), encogimiento por cocción (EC), análisis de perfil de textura (APT) y análisis sensorial (AS). Se realizaron dos repeticiones del experimento completo y en cada repetición se analizaron tres muestras por tratamiento para la evaluación de la calidad.

5.1 Materiales e Ingredientes Utilizados

La harina de linaza, pulpa de mango y ciruela deshidratada fueron usados como ingredientes para formular las hamburguesas. La carne de res magra (*Semimembrano*) fue adquirida en un supermercado local y utilizada el mismo día de su compra, la harina de linaza y los frutos fueron adquiridos de supermercados locales. La harina de linaza (Bob's Red Mill, Oregon, USA) fue directamente añadida en las hamburguesas. Un procesador de alimentos (NutriBullet NUBPT0101, Los Angeles, CA, USA) fue utilizado para moler la pulpa de mango y ciruela deshidratada en forma separada hasta obtener un puré. Un sartén eléctrico (Cook Master Oster, Model 3222-3, Mississauga, Ontario, Canadá) se utilizó para cocinar las hamburguesas 1 min por cada lado y después 15 s por cada lado hasta alcanzar 72 °C medidos por un termopar en el centro geométrico de la hamburguesa.

Cuadro 1. Composición de las mezclas en hamburguesas de res formuladas con harina de linaza, pulpa de mango y ciruela deshidratada en un diseño de mezclas simplex centroide de tres componentes.

Tratamiento	Valores codificados			Valores reales (%)		
	HL	PM	CD	HL	PM	CD
1	1	0	0	20	0	0
2	0	1	0	0	20	0
3	0	0	1	0	0	20
4	0	0.5	0.5	0	10	10
5	0.5	0	0.5	10	0	10
6	0.5	0.5	0	10	10	0
7	0.33	0.33	0.33	6.67	6.67	6.67
8	0.67	0.17	0.17	13.32	3.34	3.34
9	0.17	0.67	0.17	3.34	13.32	3.34
10	0.17	0.17	0.67	3.34	3.34	13.32
11	1	0	0	20	0	0
12	0	1	0	0	20	0
13	0	0	1	0	0	20
14	0.33	0.33	0.33	6.67	6.67	6.67

HL = harina de linaza, PM = pulpa de mango, CD = ciruela deshidratada
 Proporción de HL + PM + CD = 1

Cada uno de los tratamientos o corridas experimentales representa diferentes proporciones de sustitución de los componentes estudiados, de tal modo que se probaron tres tratamientos con un solo componente, tres tratamientos con dos componentes y cuatro tratamientos con tres componentes, éstos corresponden a los límites, bordes y superficies del diseño (**Figura 4**).

5.2 Elaboración del Producto

La carne molida fue almacenada en refrigeración (2 °C) hasta su uso. Lotes de 1 kg por tratamiento fueron usados para la preparación de las hamburguesas. La carne, la harina de linaza, la pulpa de

mango y la ciruela deshidratada fueron mezclados de acuerdo a los porcentajes especificados en las corridas experimentales del **Cuadro 1**. Los ingredientes en cada lote fueron homogeneizados manualmente por 10 min y las hamburguesas fueron formadas manualmente en muestras de 9 cm de diámetro x 1 cm de grosor para obtener 60 g por unidad.

5.3 Evaluación de la Calidad de Hamburguesas de Res

Para el análisis de calidad de hamburguesas de res se realizaron las siguientes mediciones: color instrumental (valores L^* , a^* y b^*), pH, rendimiento de cocinado, encogimiento por cocción, perfil de textura donde determinó dureza, elasticidad, cohesividad y masticabilidad y un análisis sensorial donde se evaluó el color en crudo, color en cocinado, sabor, terneza y jugosidad.

5.3.1 Determinación del Color Instrumental.

El color fue evaluado manteniendo todos los tratamientos crudos a temperatura ambiente (25 ± 2 °C) por 5 min antes de su medición utilizando un colorímetro (Chroma meter CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan) con iluminante D65, observador de 10° y apertura de 11 mm del instrumento para iluminación y 8 mm para medición. Un cristal espectralmente puro (CRA51:Minolta Co.) se colocó entre la muestra y el equipo. El espacio de color CIELab se estudió de acuerdo al procedimiento de (Cassens *et al.*, 1995) El espacio de color $L^*a^*b^*$, también referido como CIELab, es uno de los espacios de color más populares y uniformes usado para evaluar el color de un objeto debido a que correlaciona los valores numéricos de color consistentemente con la percepción visual humana. Cuando se clasifican los colores, se los puede expresar en términos de matiz (color) y luminosidad (brillo). El valor L^* se encuentra en el rango de 0-100, donde cero representa el color negro y cien el color blanco, el valor a^* se encuentra en el rango de (-60) – (+60), donde números negativos representan un color más verde y los positivos uno más rojo y el valor b^* se expresa en el rango de (-60) – (+60), donde números negativos representan un color

más azul y los positivos uno más amarillo (Minolta, 2018). Las coordenadas determinadas fueron: luminosidad (L^*), matiz verde-rojo (a^*) y matiz azul-amarillo (b^*). Se tomaron nueve repeticiones de cada muestra, siguiendo las guías para la evaluación colorimétrica de carnes (Hunt *et al.*, 1991).

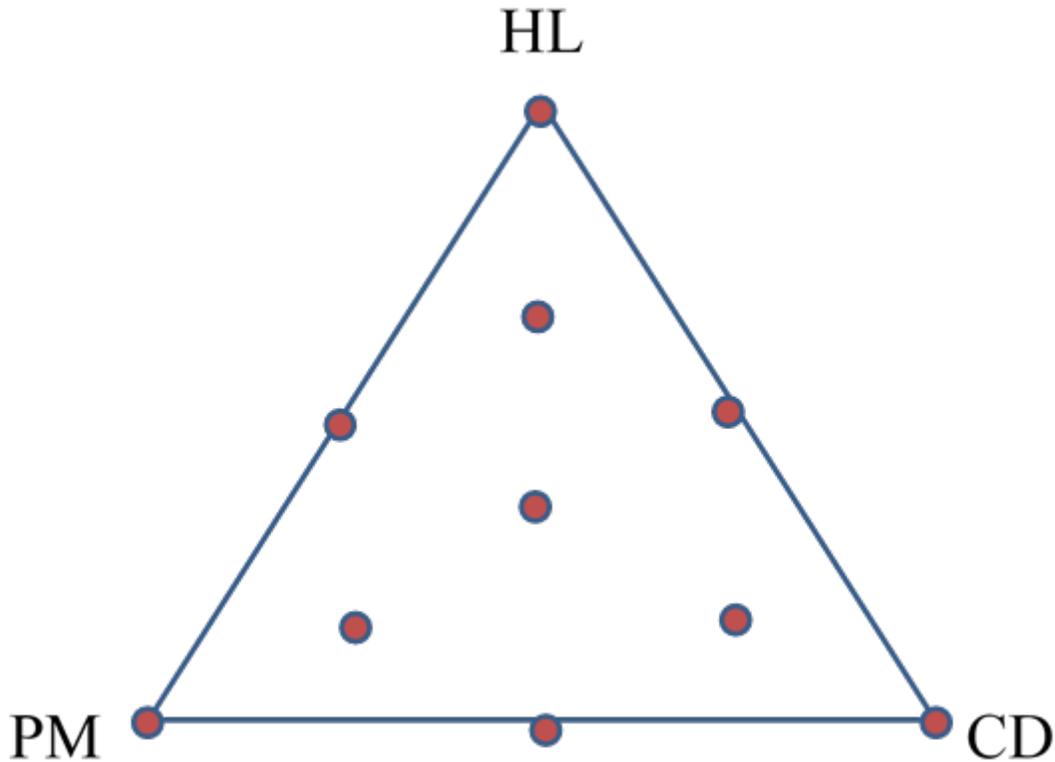


Figura 4. Gráfico de contorno de diseño de mezclas de tres componentes en la formulación de hamburguesas de res. HL, harina de linaza (0 a 20%); PM, pulpa de mango (0 a 20%); CD, ciruela deshidratada (0 a 20%); proporción de $HL + PM + CD = 1$ en la formulación.

5.3.2 Determinación de pH.

El pH fue medido directamente en hamburguesas cocinadas con un potenciómetro portátil (Hanna, Model HI 98140, Woonsocket, RI, USA) equipado con una combinación electrodos de pH tipo punción (Valenzuela-Melendres *et al.*, 2018).

5.3.3 Rendimiento de Cocción y Encogimiento.

Las hamburguesas fueron pesadas antes y después de ser cocinadas utilizando una balanza de precisión (L-EQ Torrey, Monterrey, México), después se enfriaron a 25 °C y secaron con una toalla de papel para retirar el agua y la grasa liberadas durante el cocimiento. El rendimiento de cocción (RC) fue calculado por medio de una fórmula (Ec. 1):

$$(Ec. 1) \quad RC = \frac{m2}{m1} * 100$$

Donde m1 es la masa de la hamburguesa antes de cocción y m2 es la masa después de cocción (Szerman *et al.*, 2019). Por otro lado, la reducción del diámetro (EC) en las hamburguesas por el proceso de cocción fue calculado por medio de la siguiente formula (Ec. 2):

$$(Ec. 2) \quad EG = \frac{D1 - D2}{D1} * 100$$

Donde D1 es el diámetro (en cm) de la hamburguesa cruda y D2 es el diámetro de la hamburguesa cocinada

5.3.4 Análisis de Perfil de Textura.

El análisis de perfil de textura se desarrolló en muestras de hamburguesas cocinadas, a 4 ± 1 °C con un analizador de textura TA-XT2 (Stable Micro Systems, Surrey, UK) siguiendo los métodos para la medición de textura de productos cárnicos (Claus, 1995). Muestras cubicas ($1 \times 1 \times 1$ cm) fueron cortadas de las hamburguesas cocinadas y sometidas a pruebas de compresión a dos ciclos.

Las muestras fueron comprimidas hasta 50% de su altura original con una sonda cilíndrica de 7.5 cm de diámetro unida a una de compresión de 50 kg con una velocidad de cabezal de 1 mm/s. Los parámetros de perfil de textura fueron determinados de acuerdo a (Bourne, 1978) e interpretados de la siguiente manera: dureza (N) como la fuerza máxima requerida para comprimir la muestra; cohesividad como la extensión en la cual la muestra puede ser deformada antes de su ruptura ($A2/A1$), donde A1 es la energía total requerida para la primer compresión y A2 es la energía total requerida para la segunda compresión; elasticidad (cm) como la habilidad de la muestras para recuperar su forma original después de que la fuerza de deformación es removida; masticabilidad ($N \times cm$) como el trabajo necesario para masticar la muestra y posteriormente engullirla (dureza \times cohesividad \times elasticidad) (Valenzuela-Melendres *et al.*, 2018).

5.3.5. Análisis Sensorial

La evaluación sensorial se realizó por quince panelistas entrenados (ISO-8586-1, 1993) en una habitación dividida en cabinas y controlada ambientalmente (21 ± 1 °C, $55 \pm 5\%$ HR). Previo al análisis, los panelistas obtuvieron un entrenamiento donde se explicó el objetivo del proyecto, se explicaron los descriptores a calificar y la escala de evaluación (Valenzuela-Melendres *et al.*, 2018). Durante la evaluación sensorial, cuatro hamburguesas de cada formulación fueron cocinadas como se describió previamente, cubiertas y mantenidas a 60 °C en un horno hasta su evaluación por 4-7 min. Las hamburguesas fueron cortadas en cuatro partes iguales y servidas inmediatamente. Cada muestra fue codificada con números de tres dígitos aleatoriamente seleccionados. Los panelistas fueron instruidos para limpiar sus paladares entre cada muestra utilizando agua y galletas sin sal. Cada panelista evaluó todas las formulaciones en un orden aleatorio y se les pidió evaluar en una escala de 0 a 10 los siguientes atributos: color en crudo (0 = rojo oscuro/10 = rojo brillante), color en cocinado (0 = marrón oscuro/10 = marrón claro), sabor (0 = nada intenso/10 = muy intenso), terneza (0 = dura/10 = blanda) y jugosidad (0 = seca/10 = jugosa) de las hamburguesas.

5.4 Análisis Estadístico de los Datos

Para el análisis estadístico, se utilizó la MSR. Primeramente, cada variable respuesta fue ajustada a un modelo cubico especial (Ec. 3) para modelar los datos obtenidos en el experimento.

$$(Ec. 3) \quad Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3$$

Donde Y es la variable de respuesta (color, pH, RC, EC, APT y AS), β es el coeficiente de regresión, y x es la proporción de los componentes (HL, PM y CD) en la formulación. Para el análisis de resultados se utilizó el software *Design Expert 7.0.0* (Stat-Ease, Inc., Minneapolis, MN, USA). Para cada variable respuesta, se realizó un análisis de varianza para estimar las significancias ($P < 0.05$) de los factores estudiados y sus interacciones. Se estimaron los coeficientes de regresión, el coeficiente de determinación (R^2) y falta de ajuste de los modelos resultantes (Valenzuela-Melendres *et al.*, 2018).

Con los modelos predictivos seleccionados, se llevó a cabo la optimización de las respuestas, mediante la técnica de optimización numérica del software *Design Expert* para la optimización simultánea de múltiples respuestas. Para el presente estudio, la formulación óptima de hamburguesa de res se predijo maximizando la incorporación de HL y manteniendo en el rango PM y CD. Se eligieron los objetivos deseados para cada variable de respuesta. La formulación óptima se usó para estimar los valores predichos de las variables de respuesta utilizando las ecuaciones de predicción derivadas de la MSR (Valenzuela-Melendres *et al.*, 2018). Se construyeron gráficas de contornos de los efectos observados en las variables de respuesta.

También se realizó estadística descriptiva de los parámetros de calidad, y un análisis de correlación de Pearson (r) entre las variables de respuestas del diseño experimental para mostrar la fuerza de relación entre las propiedades de calidad estudiadas, considerando solo aquellas variables con un coeficiente de correlación significativo ($p < 0.05$).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Modelos de Predicción de Color Instrumental, pH, RC y EC.

Las mediciones experimentales de color instrumental, pH, rendimiento de cocción y encogimiento por cocción de hamburguesas de res formuladas con HL, PM y CD se presentan en el **Cuadro 2**. Los valores L^* y a^* estuvieron en los rangos de 31.81–45.12 y 10.71–19.53, respectivamente. Las formulaciones con la máxima incorporación de PM presentaron los valores más altos de ambos parámetros. Los rangos del valor b^* , pH y rendimiento por cocción (%), oscilaron entre 12.82–20.08, 5.02–5.49 y 62.22–89.17, respectivamente. Los valores más altos de estas evaluaciones se presentaron en la formulación con 20% HL. El encogimiento por cocción (EC) se mantuvo en un rango de 4.79–13.75%. El EC más alto lo obtuvo el tratamiento con 20% CD (EC = 13.75 %), mientras que el más bajo más bajo en el diseño lo obtuvo el tratamiento con 20% HL (EC = 4.79 %).

En general, el valor L^* y a^* incrementaron ($P < 0.05$) por el tratamiento con 20% PM y el valor b^* aumentó ($P < 0.05$) por el tratamiento con 20% HL, mientras que el tratamiento con 20% CD disminuyó los tres parámetros de color ($P < 0.05$). Los modelos del diseño de mezclas fueron del tipo cubico especial y fueron significativos ($P < 0.05$) para predecir el color instrumental en crudo, sin embargo el valor a^* en hamburguesas cocinadas no fue significativo y por ello se omitió el análisis de color instrumental en cocinado. Además se determinó el coeficiente de determinación R^2 de los modelos, en los cuales solamente el valor a^* en hamburguesas cocinadas tuvo un valor menor al mínimo recomendado ($R^2 > 0.7$) para una adecuada predicción de la variable de respuesta (Gutiérrez Pulido & Salazar, 2004). Finalmente, se determinó la falta de ajuste de los modelos en los cuales todos fueron no significativos ($p > 0.05$) indicando que los modelos se ajustaron de manera adecuada a los datos experimentales. Las características de los modelos obtenidos de la matriz de diseño de mezclas para color instrumental, pH, RC y EC de hamburguesas de res formuladas con HL, PM y CD se presentan en el **Cuadro 3**.

Cuadro 2. Color instrumental, pH, rendimiento de cocinado y encogimiento por cocción (media \pm DE) de tratamientos derivados del diseño de mezclas *simplex centroide*.

Tratamiento	Ingredientes (%)			Valores Experimentales					
	HL	PM	CD	L^*	a^*	b^*	pH	RC	EC
1	20	0	0	43.3 \pm 1.8	16.1 \pm 1.5	20.0 \pm 0.9	5.4 \pm 0.0	89.1 \pm 0.3	4.7 \pm 2.0
2	0	20	0	44.5 \pm 3.0	19.5 \pm 2.3	17.6 \pm 3.2	5.1 \pm 0.0	65.0 \pm 2.3	12.2 \pm 0.8
3	0	0	20	31.8 \pm 1.7	11.0 \pm 1.6	12.8 \pm 0.6	5.0 \pm 0.0	74.4 \pm 0.0	13.7 \pm 2.3
4	0	10	10	36.5 \pm 1.5	15.3 \pm 0.4	16.4 \pm 1.0	5.0 \pm 0.0	72.7 \pm 2.3	13.1 \pm 1.4
5	10	0	10	36.6 \pm 0.8	11.6 \pm 0.6	16.6 \pm 1.2	5.2 \pm 0.0	88.0 \pm 1.9	9.5 \pm 4.1
6	10	10	0	43.8 \pm 1.9	17.7 \pm 0.8	18.9 \pm 1.9	5.3 \pm 0.0	81.3 \pm 1.1	9.7 \pm 2.6
7	6.66	6.66	6.66	37.9 \pm 1.4	14.8 \pm 1.0	17.1 \pm 1.9	5.1 \pm 0.0	79.1 \pm 1.1	11.0 \pm 0.8
8	13.32	3.34	3.34	41.6 \pm 1.6	14.8 \pm 1.2	18.3 \pm 0.8	5.3 \pm 0.0	87.7 \pm 1.5	9.7 \pm 0.2
9	3.34	13.32	3.34	41.4 \pm 0.5	18.0 \pm 1.2	18.1 \pm 1.6	5.1 \pm 0.0	74.1 \pm 4.3	15.2 \pm 2.0
10	3.34	3.34	13.32	34.8 \pm 1.1	12.5 \pm 0.8	15.6 \pm 1.2	5.0 \pm 0.0	75.0 \pm 1.5	13.5 \pm 0.8
11	20	0	0	43.2 \pm 1.5	15.9 \pm 3.2	20.0 \pm 0.8	5.4 \pm 0.0	89.1 \pm 2.7	7.7 \pm 2.6
12	0	20	0	45.1 \pm 2.5	17.5 \pm 0.8	18.1 \pm 2.4	5.1 \pm 0.0	62.2 \pm 0.7	12.5 \pm 2.3
13	0	0	20	31.9 \pm 0.6	10.7 \pm 0.9	13.2 \pm 1.0	4.9 \pm 0.0	72.7 \pm 1.5	11.2 \pm 1.7
14	6.66	6.66	6.66	38.1 \pm 3.6	16.0 \pm 1.2	17.3 \pm 2.2	5.1 \pm 0.0	82.5 \pm 1.9	10.6 \pm 0.2

HL = Harina de Linaza; PM = pulpa de mango; CD = ciruela deshidratada; RC = rendimiento de cocinado (%); EC = Encogimiento (%); Promedio de 6 determinaciones \pm D

Cuadro 3. Coeficientes de regresión significativos para parámetros de color instrumental, pH, rendimiento de cocinado y encogimiento por cocción de hamburguesas de res adicionadas con HL, PM y CD.

VR	Promedio ± DE	Coeficientes de regresión						Modelos		
		β_1	β_2	β_3	β_{12}	β_{13}	β_{23}	R ²	F-A	p
<i>L</i> *	39.3 ± 0.4	5.4	7.1	-12.5	NS	-4.4	-8.1	0.99	0.07	< 0.0001
<i>a</i> *	15.1 ± 0.8	0.8	5.8	-6.7	NS	NS	NS	0.92	0.50	< 0.0001
<i>b</i> *	17.2 ± 0.2	4.2	1.5	-5.7	NS	NS	3.9	0.99	0.65	< 0.0001
pH	5.1 ± 0.0	0.4	-0.1	-0.3	NS	NS	NS	0.98	0.82	< 0.0001
RC	78.1 ± 2.0	21.4	-17.8	-3.6	19.8	22.5	NS	0.96	0.27	< 0.0001
EC	11.0 ± 1.4	-6.5	3.5	3.0	NS	NS	NS	0.75	0.46	0.0004

VR= variable de respuesta; *L**= luminosidad; *a**= matiz verde-rojo y *b**= matiz azul-amarillo; RC= rendimiento de cocinado (%); EC= encogimiento por cocción (%); β_1 = Harina de Linaza; β_2 = pulpa de mango; β_3 = ciruela deshidratada; F.A.= falta de ajuste. NS = no significativo ($p>0.05$).

Los coeficientes de regresión representan el cambio medio en la variable de respuesta para una unidad de cambio en la variable independiente mientras se mantienen constantes las otras variables independientes presentes en el modelo. Del mismo modo, un término de interacción significativo indica que el efecto de una variable varía dependiendo del valor de otra variable. Por otra parte, en la interpretación gráfica de los modelos de regresión cada triángulo representa una variable de respuesta, en los cuales los puntos rojos de los vértices corresponden a los tratamientos con un solo ingrediente (20% de incorporación), los puntos a la mitad de los bordes del triángulo representan los tratamientos con la mezcla de dos ingredientes (10% de incorporación) y los puntos en la superficie del triángulo representan la mezcla de tres ingredientes en diferentes proporciones de acuerdo al diseño de mezclas. Los colores del triángulo se interpretan de la siguiente manera para la variable de respuesta: 1) rojo = incremento significativo ($P<0.05$); 2) amarillo/verde = sin diferencias significativas ($P>0.05$); 3) azul= disminución significativa ($P<0.05$). La representación gráfica de los modelos de regresión para color instrumental (*L**, *a** y *b**) derivados del diseño de mezclas se presentan en la **Figura 5** El color de la carne es crítico para la percepción de calidad del producto y esto se encuentra relacionado directamente con las intenciones de compra del consumidor (Toldrá, 2017). De forma ideal, los productos cárnicos novedosos deben tener características de color similares a sus alternativas convencionales. Los coeficientes de regresión

del modelo para el valor L^* fueron significativos para los componentes puros y para las mezclas HL-CD y PM-CD. El valor L^* incrementó ($P < 0.05$) por la incorporación de PM ($\beta_2 = 7.13$) y HL ($\beta_1 = 5.43$) y disminuyó ($P < 0.05$) con la incorporación de CD ($\beta_3 = -12.55$). EL valor L^* incrementó ($P < 0.05$) en promedio 7.13 unidades por cada porcentaje adicionado de PM, esto puede atribuirse a que la alta humedad del mango permite a la luz reflejarse en la superficie del alimento. Asimismo, el valor L^* incrementó ($P < 0.05$) en promedio 5.43 unidades por cada porcentaje adicionado de HL, quizá debido a que las partículas de HL se encuentran en la superficie del producto, lo cual afecta estas coordenadas. En cambio, la incorporación de CD tuvo un efecto significativo sobre la disminución del valor L^* de las hamburguesas, donde este ingrediente disminuyó ($P < 0.05$) el valor en 12.55 unidades por cada porcentaje adicionado de CD.

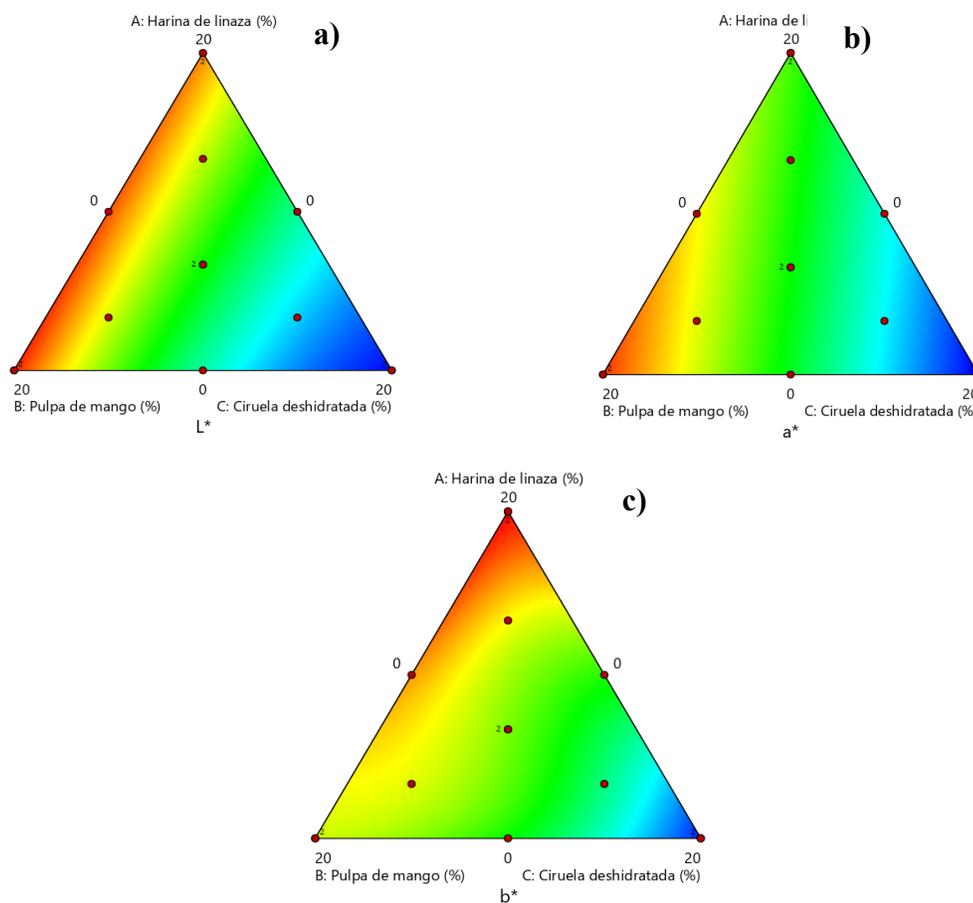


Figura 5. Gráfico de contorno de diseño de mezclas para color instrumental: a) L^* (luminosidad), b) a^* (matiz verde-rojo) y c) b^* (matiz azul-amarillo) en hamburguesas de res crudas adicionadas con HL, PM y CD.

Los coeficientes de regresión en las mezclas HL-CD ($\beta_{13} = -4.44$) y PM-CD ($\beta_{23} = -8.18$) indican que la combinación de esos ingredientes tiene un efecto negativo sobre el valor L^* , debido a que la HL y PM no fueron capaces de contrarrestar el efecto de la CD sobre la disminución de L^* . Resultados similares sobre el efecto de la HL sobre el valor L^* han sido reportados (Valenzuela-Melendres *et al.*, 2014), sin embargo el efecto de la PM sobre el color instrumental no ha sido reportado. El efecto de la CD sobre la disminución del valor L^* puede ser atribuido al color oscuro del fruto; este comportamiento es similar a lo reportado por Reyes-Padilla *et al.* (2018) donde la incorporación de 5% CD en bolonia generó los valores L^* más bajos. En el gráfico de contorno de diseño de mezclas (**Figura 5a**), un mayor porcentaje de PM y HL se relacionó a un aumento del valor L^* mientras que un mayor porcentaje de CD se relacionó con una disminución del valor L^* . Los coeficientes de regresión del modelo para el valor a^* fueron significativos ($P < 0.05$) solo para los tratamientos puros. El valor a^* incrementó ($P < 0.05$) por la incorporación de PM ($\beta_2 = 5.89$), mientras que la incorporación de HL ($\beta_1 = 0.88$) incrementó ($P < 0.05$) ligeramente este valor. Por otra parte, la incorporación de CD ($\beta_3 = -6.67$) disminuyó ($P < 0.05$) el valor a^* debido al color oscuro del fruto. El aumento del valor a^* por la PM puede atribuirse al efecto antioxidante de sus compuestos fenólicos, los cuales retardan la oxidación de la mioglobina que produce el color rojo característico de la carne. En el gráfico de contorno de diseño de mezclas (**Figura 5b**), una mayor concentración de PM y HL se relacionó a un aumento del valor a^* mientras que una mayor concentración de CD se relacionó con una disminución del valor a^* . Los coeficientes de regresión del modelo para el valor b^* fueron significativos para los componentes puros y la mezcla PM-CD. El valor b^* incrementó ($P < 0.05$) por la incorporación de HL ($\beta_1 = 4.27$) y PM ($\beta_2 = 1.51$), esto puede atribuirse a las partículas de HL que quedan atrapadas en la superficie cárnica y al color amarillo del mango, el cual se caracteriza por una alta cantidad de β -caroteno presente en la pulpa de este fruto. Por otra parte, la incorporación de CD ($\beta_3 = -5.78$) disminuyó ($P < 0.05$) del valor b^* . De acuerdo al coeficiente de regresión de la mezcla PM-CD ($\beta_{23} = 3.90$), la combinación de estos ingredientes se relaciona con un aumento valor b^* , con lo cual se puede inferir que la PM tuvo un papel importante al revertir el efecto negativo de la CD sobre b^* . Resultados similares respecto a la adición de CD han sido reportados por de Gonzalez *et al.* (2008) donde un incremento de CD del 2.5% a 5% disminuye significativamente los valores L^* , a^* y b^* en carne de res. En el gráfico de contorno de diseño de mezclas (**Figura 5c**), un mayor porcentaje de HL y PM se relacionó a un

aumento del valor b^* mientras que un mayor porcentaje de CD se relacionó con una disminución del valor b^* .

La representación gráfica de los modelos de regresión para pH, rendimiento de cocinado (RC) y encogimiento por cocción (EC) derivados del diseño de mezclas se presentan en la **Figura 6**. El pH es un parámetro de calidad muy importante en la carne, ya que puede estar relacionado directa o indirectamente con otros parámetros de calidad como la capacidad de retención de agua y propiedades organolépticas, así como también puede promover o inhibir el deterioro por microorganismos (Toldrá, 2017). Los coeficientes de regresión del modelo de pH fueron significativos ($P < 0.05$) solo para los tratamientos puros. Se observaron diferencias entre los coeficientes de regresión del tratamiento con HL ($\beta_1 = 0.41$) y los tratamientos con PM ($\beta_2 = -0.10$) y CD ($\beta_3 = -0.31$), donde la incorporación de HL aumentó ($P < 0.05$) el pH y la incorporación de PM o CD disminuyó el pH ($P < 0.05$). Las diferencias de pH pueden atribuirse a que la alta cantidad de ácidos orgánicos en la PM (pH = 3.45) y CD (pH = 3.82) como ácido cítrico y ácido málico, confieren al alimento un pH más ácido (Jarvis *et al.*, 2015; Maldonado-Celis *et al.*, 2019) mientras que la HL (pH = 6.42) le confiere al alimento un pH más alcalino. Yıldız-Turp and Serdaroglu (2010) reportaron que se observa una disminución de pH aumentando las proporciones de CD en hamburguesas de res y de manera similar se ha reportado una disminución de pH en milanesas de pollo debido a un aumento en la adición de polvo de cáscara de mango (Bhat *et al.*, 2017; Hung Minh Le, 2012), esto contrastan bien con los datos predichos por los modelos. En el gráfico de contorno de diseño de mezclas (**Figura 6a**), una mayor concentración de HL se relacionó a un aumento del pH mientras que una mayor concentración de PM o CD se relacionó con una disminución del pH. El RC y EC son parámetros tecnológicos importantes en productos cárnicos ya que determinan las características finales del producto. Ambos parámetros son función de pérdida de agua y grasa del alimento debido al proceso de cocinado. Los coeficientes de regresión del modelo para RC fueron significativos ($P < 0.05$) para los componentes puros y para las mezclas HL-PM y HL-CD. El RC incrementó significativamente por la incorporación de HL ($\beta_1 = 21.47$) y disminuyó ($P < 0.05$) por la incorporación de PM ($\beta_2 = -17.86$) o CD ($\beta_3 = -3.61$).

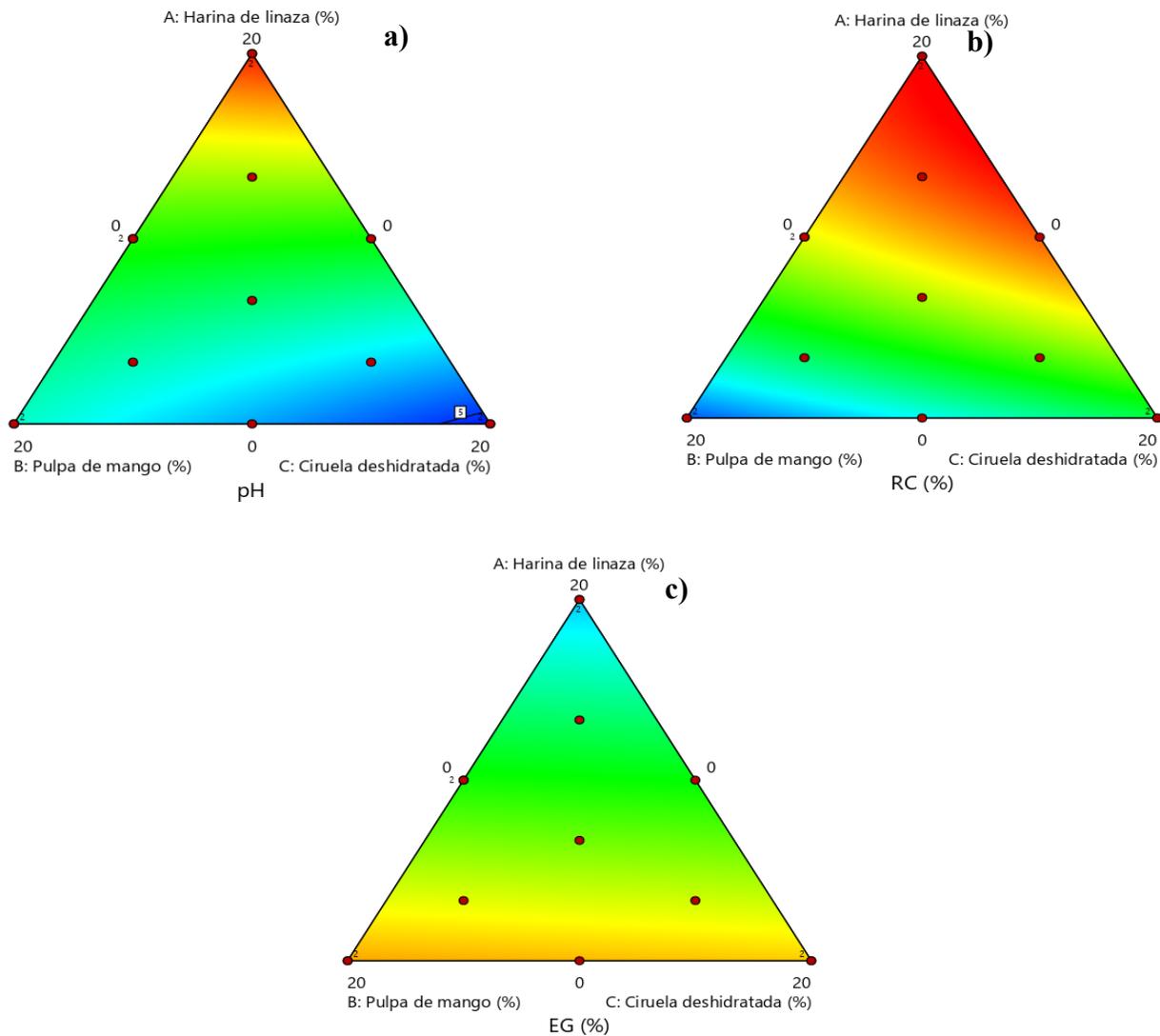


Figura 6. Gráfico de contorno de diseño de mezclas para a) pH, b) rendimiento de cocinado (RC), y c) encogimiento por cocción (EC) de hamburguesas de res adicionadas con HL, PM y CD.

El bajo pH de la PM (pH=3.45) y CD (pH=3.82) tiene un efecto directo sobre el RC y EC, ya que mantiene a las proteínas miofibrilares de la carne cercanas a su punto isoeléctrico ($pI = 5.1-5.2$), que es donde la capacidad de retención de agua es mínima (Toldrá, 2017). Entre estos dos ingredientes, la PM produce un menor RC lo cual puede atribuirse a que al ser un ingrediente fresco (a diferencia de la CD) este aporta una alta cantidad de agua al producto cárnico y promueve la pérdida de peso durante el proceso de cocinado. En cuanto a la combinación de ingredientes, la mezcla HL-CD ($\beta_{13} = 22.51$) aumentó ($P < 0.05$) el RC y la mezcla HL-PM ($\beta_{12} = 19.89$) también aumentó el RC ($P < 0.05$), lo cual indica que la HL tiene la propiedad de contrarrestar la pérdida de

peso después del cocinado que se encontró por la incorporación de PM y la CD. Se ha reportado que la adición de HL ha generado productos con mayor humedad, debido al aumento de materia seca y a la capacidad de las partículas de linaza de formar uniones moleculares con el agua intrínseca en el alimento, lo que beneficia la retención de agua y el peso final del producto (Bilek & Turhan, 2009; Valenzuela-Melendres *et al.*, 2014) Además, la adición de CD como mejorador de la retención de agua ha sido evaluada y comparada con aditivos sintéticos, resultando una alternativa natural con un efecto equivalente (Jarvis *et al.*, 2012). En el gráfico de contorno de diseño de mezclas (**Figura 6b**), un mayor porcentaje de HL se relacionó a un aumento del RC mientras que un mayor porcentaje de PM o CD se relacionó con una disminución del RC. Los coeficientes de regresión del modelo para EC fueron significativos ($P < 0.05$) solo para los componentes puros. La incorporación de HL ($\beta_1 = -6.56$), disminuyó ($P < 0.05$) el EC mientras que la incorporación de PM ($\beta_2 = 3.50$) y CD ($\beta_3 = 3.06$) indican que hubo un aumento del EC. La diferencia entre encogimientos puede atribuirse a las propiedades de cada ingrediente por separado, siendo la HL la que brinda mejores propiedades estructurales debido a su poca cantidad de agua, seguido de la CD y finalmente la PM. En el gráfico de contorno de diseño de mezclas (**Figura 6c**), una mayor concentración de HL se relacionó a una disminución del RC mientras que una mayor concentración de PM o CD se relacionó con un aumento del RC. La matriz de correlaciones de Pearson muestra una correlación positiva ($r = 0.65$) entre pH – RC (**Figura 7**) y una correlación negativa ($r = -0.76$) entre pH - EC (**Figura 8**), esto tiene sentido si consideramos que al aumentar o disminuir el pH de la carne, su punto isoeléctrico se modifica y el nuevo arreglo espacial entre las proteínas miofibrilares permite la entrada de agua extrínseca, aumentando así el peso del producto.

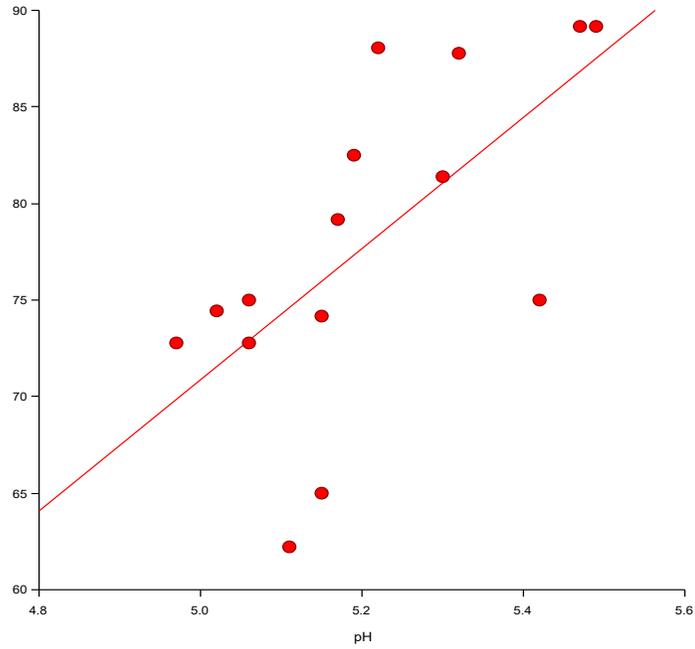


Figura 7. Gráfico de la asociación lineal entre pH y rendimiento de cocinado (RC). (Correlación de Pearson $r=0.65$, $P<0.05$).

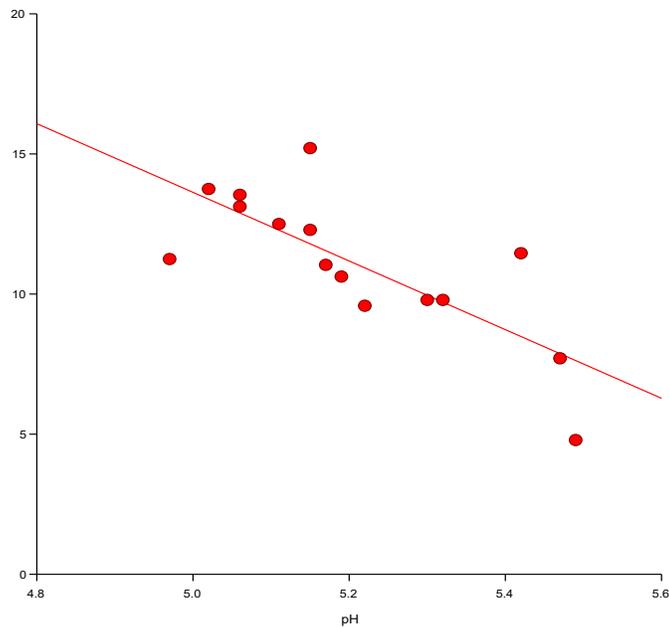


Figura 8. Gráfico de la asociación lineal entre pH y encogimiento por cocción (EC). (Correlación de Pearson $r=-0.76$, $P<0.05$).

6.2 Modelos de Predicción de Perfil de Textura

Las mediciones experimentales de perfil de textura de hamburguesas de res formuladas con HL, PM y CD se presentan en el **Cuadro 4**. La incorporación de los ingredientes tuvo un efecto significativo ($P < 0.05$) sobre el perfil de textura. Los rangos registrados de dureza (N), elasticidad (cm) y masticabilidad (N x cm) oscilaron entre 4.4–13.1, 0.53–0.82 y 0.8–4.1, respectivamente. Las formulaciones con la mayor incorporación de PM (20%) fueron las que presentaron los valores más altos en estos parámetros. En relación a la cohesividad, los valores fueron muy uniformes entre todos los tratamientos evaluados presentando un rango de 0.3–0.4 cm. Las características de los modelos de regresión para el perfil de textura obtenidos de la matriz de diseño de mezclas se presentan en el **Cuadro 5**. La representación gráfica de los modelos de regresión para el perfil de textura obtenidos de la matriz de diseño de mezclas se presenta en la **Figura 9**. La textura de un alimento juega un papel fundamental en la preferencia del consumidor hacia un producto alimenticio y esta preferencia varía según el tipo de alimento. En productos cárnicos, la grasa y humedad intrínseca tiene un papel fundamental en la textura, ya que sirven como estabilizadores de la red de proteínas en el producto (Chen *et al.*, 2015). La reducción de grasa en carnes procesadas puede ir acompañada por una modificación en el perfil de ácidos grasos, esto implica reemplazar parcial o totalmente los ácidos grasos saturados por insaturados. A pesar de las ventajas nutricionales, la incorporación de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados se asocia a cambios en propiedades fisicoquímicas de la grasa como su punto de fusión, lo que lleva a su vez a problemas tecnológicos adicionales en la textura (Colmenero, 2000). Por tanto, la sustitución de grasa animal con HL, PM y CD en hamburguesas de res parece estar relacionada con la disminución en los parámetros de textura, siendo estos más bajos por el aporte de grasa insaturada y humedad. Los coeficientes de regresión del modelo para dureza fueron significativos ($P < 0.05$) para los tratamientos puros y para las mezclas de dos ingredientes. La dureza disminuyó ($P < 0.05$) por la incorporación de HL ($\beta_1 = -4.94$), mientras que la incorporación de CD ($\beta_3 = 1.74$) y PM ($\beta_2 = 3.20$) tendieron a aumentar ($P < 0.05$) la dureza.

Cuadro 4. Perfil de textura (media \pm DE) de tratamientos derivados del diseño de mezclas simplex centroide.

Tratamiento	Ingredientes (%)			Valores Experimentales			
	HL	PM	CD	Dureza	Elasticidad	Cohesividad	Masticabilidad
1	20	0	0	6.1 \pm 2.9	0.5 \pm 0.2	0.3 \pm 0.1	1.0 \pm 0.6
2	0	20	0	10.3 \pm 4.4	0.8 \pm 0.8	0.4 \pm 0.1	3.5 \pm 6.3
3	0	0	20	10.2 \pm 7.1	0.7 \pm 0.9	0.4 \pm 0.1	3.1 \pm 3.2
4	0	10	10	7.4 \pm 2.7	0.8 \pm 1.2	0.4 \pm 0.1	2.8 \pm 4.8
5	10	0	10	4.6 \pm 2.1	0.8 \pm 1.1	0.3 \pm 0.1	1.1 \pm 1.7
6	10	10	0	4.4 \pm 1.8	0.7 \pm 0.8	0.3 \pm 0.1	1.0 \pm 1.4
7	6.7	6.7	6.7	5.5 \pm 2.2	0.6 \pm 0.5	0.3 \pm 0.1	1.1 \pm 0.6
8	13.3	3.3	3.3	4.9 \pm 1.4	0.6 \pm 0.1	0.3 \pm 0.1	0.8 \pm 0.3
9	3.3	13.3	3.3	7.1 \pm 2.5	0.6 \pm 0.1	0.4 \pm 0.1	1.7 \pm 0.9
10	3.3	3.3	13.3	6.9 \pm 2.8	0.5 \pm 0.1	0.3 \pm 0.0	1.2 \pm 0.7
11	20	0	0	6.1 \pm 3.6	0.6 \pm 0.1	0.3 \pm 0.1	1.2 \pm 1.1
12	0	20	0	13.1 \pm 5.9	0.8 \pm 0.8	0.4 \pm 0.1	4.2 \pm 5.5
13	0	0	20	10.7 \pm 7.1	0.6 \pm 0.1	0.4 \pm 0.1	2.5 \pm 1.7
14	6.7	6.7	6.7	7.0 \pm 2.7	0.6 \pm 0.1	0.3 \pm 0.1	1.4 \pm 0.7

HL = Harina de Linaza; PM = pulpa de mango; CD = ciruela deshidratada; Dureza = N; Elasticidad = cm; Cohesividad = adimensional; Masticabilidad = N x cm; Promedio de 21 determinaciones \pm DE.

Cuadro 5. Coeficientes de regresión significativos para el perfil de textura de hamburguesas de res.

VR	Promedio \pm DE	Ingredientes y mezclas							Modelos		
		β_1	β_2	β_3	β_{12}	β_{13}	β_{23}	β_{123}	R2	F-A	P
Dureza	7.43 \pm 1.12	-4.9	3.2	1.7	-13.9	-10.4	-11.2	NS	0.88	0.60	P= 0.0013
Elasticidad	0.66 \pm 0.06	-0.1	0.1	0.0	0.1	-0.6	-0.3	-6.3	0.77	0.26	P= 0.0484
Cohesividad	0.35 \pm 0.02	-0.1	0.0	0.0	NS	-0.1	NS	NS	0.83	0.56	P= 0.0003
Masticabilidad	1.90 \pm 0.44	-2.2	1.8	0.4	-6.3	-4.1	NS	NS	0.89	0.28	P= 0.0002

Dureza= N; Elasticidad= cm; Cohesividad= adimensional; Masticabilidad= N*cm; β_1 = Harina de Linaza; β_2 = pulpa de mango; β_3 = ciruela deshidratada; F.A.= falta de ajuste; NS = no significativo ($p>0.05$).

Los coeficientes de regresión para la mezcla de dos ingredientes fueron significativos ($P < 0.05$), y todos se relacionaron con una disminución de la dureza, esto nos indica que las combinaciones de los ingredientes tienen un efecto negativo sobre la dureza. El aumento de la dureza por la incorporación de PM y CD puede ser atribuido a los carbohidratos estructurales de estos frutos como agar, pectinas, almidón o carrageninas que pueden actuar como espesantes y gelificantes para mantener un producto más firme (Maldonado-Celis *et al.*, 2019; Serna-Cock *et al.*, 2016). En cambio, se han reportado efectos similares sobre la incorporación de HL en hamburguesas de res, generando una disminución de todos los valores de textura (Hautrive *et al.*, 2019).

En el gráfico de contorno de diseño de mezclas (**Figura 9a**), una mayor concentración de HL se relacionó a una disminución de la dureza mientras que una mayor concentración de PM o CD se relacionó con un aumento de la misma. La masticabilidad es un parámetro dependiente de la dureza, por lo que está presentó una respuesta similar (**Figura 9d**). Los coeficientes de regresión del modelo para elasticidad fueron significativos para los tratamientos puros y para las mezclas de dos y tres ingredientes. La elasticidad aumentó ($P < 0.05$) por la incorporación de PM ($\beta_2 = 0.13$) y disminuyó ($P < 0.05$) por HL ($\beta_1 = -0.15$). El coeficiente de regresión de la mezcla HL-PM ($\beta_{12} = 0.15$) indicó un aumento de la elasticidad a diferencia del resto de las mezclas que tienden a una disminución, quizá debido a que el balance entre humedad y materia seca beneficia la elasticidad de la carne. En el gráfico de contorno de diseño de mezclas (**Figura 9b**) una mayor concentración de PM se relacionó con un aumento de la elasticidad, mientras que una mayor concentración de HL se relacionó con una disminución. Los coeficientes de regresión para cohesividad fueron significativos ($P < 0.05$) para los tratamientos puros y para la mezcla HL-CD. La cohesividad aumentó ($P < 0.05$) por la incorporación de PM ($\beta_2 = 0.06$) y CD ($\beta_3 = 0.04$), y disminuyó ($P < 0.05$) por la incorporación de HL ($\beta_1 = -0.10$). La mezcla HL-CD ($\beta_{13} = -0.18$) disminuyó ($P < 0.05$) la cohesividad del producto, debido quizá a que la poca cantidad de agua aportada por esta mezcla disminuye la cantidad de uniones intramoleculares con las proteínas intrínsecas de la carne (actina y miosina), generando un producto con poca cohesividad. En el gráfico de contorno de diseño de mezclas (**Figura 9c**) una mayor concentración de PM se relacionó con un aumento de la cohesividad, mientras que una mayor concentración de HL se relacionó con una disminución.

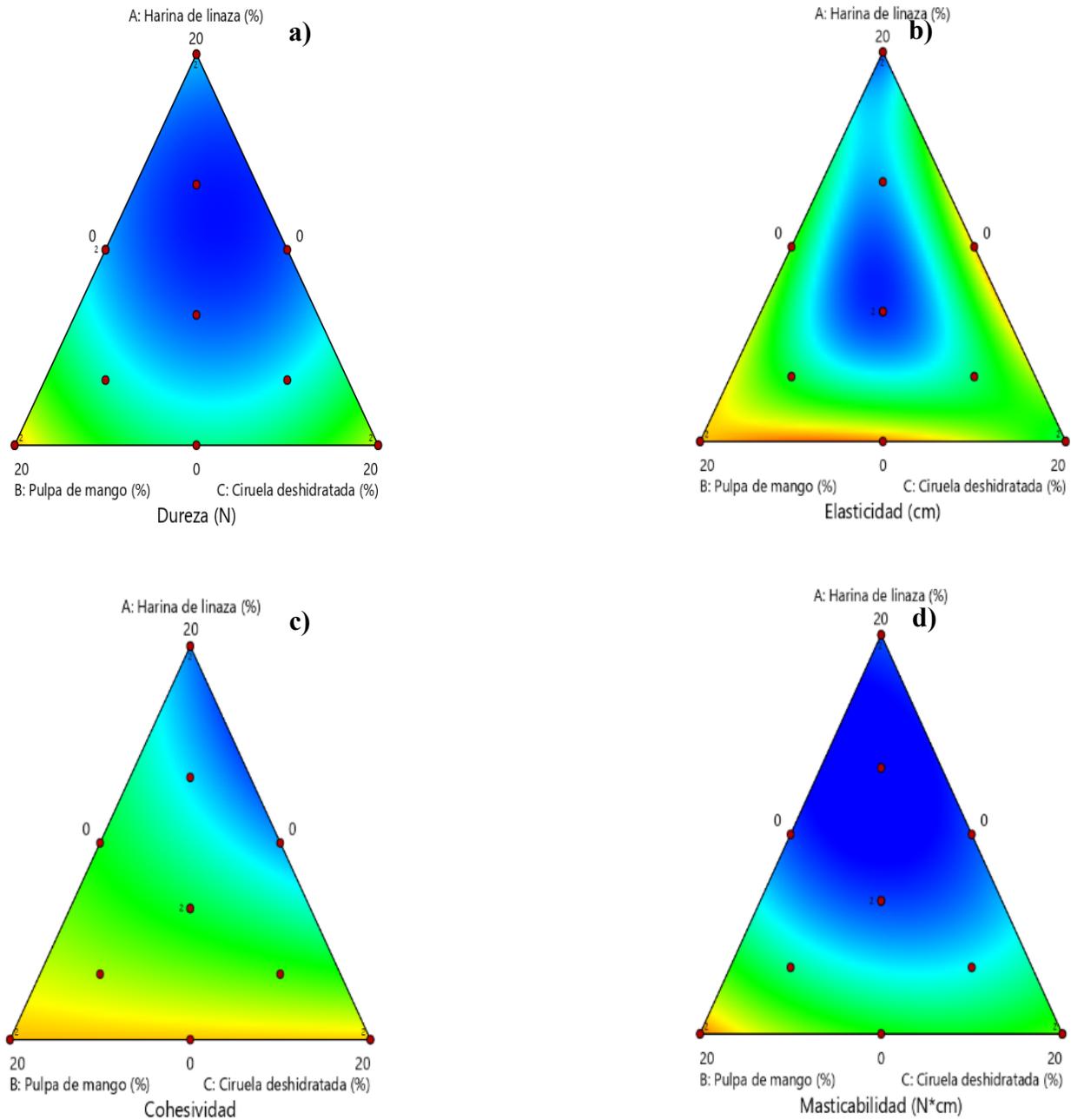


Figura 9. Gráfico de contorno de diseño de mezclas para perfil de textura: a) dureza (N), b) elasticidad (cm), c) cohesividad (adimensional), y d) masticabilidad (N x cm) de hamburguesas de res adicionadas con HL, PM y CD.

6.3 Modelos de Predicción del Análisis Sensorial

Las mediciones experimentales del análisis sensorial de hamburguesas de res se presentan en el **Cuadro 6**. La escala utilizada para la evaluación sensorial consistió en una línea recta de 10 cm, donde un puntaje cercano a 0 representó características indeseables y un puntaje cercano a 10 representó características deseables del producto. Los rangos de color en crudo y cocinado oscilaron entre 1.86 – 8.74 y 2.61 – 7.70, respectivamente. Los tratamientos con los valores más altos de color estuvieron formulados con 20% PM (8.74) y los más bajos estuvieron formulados con 20% CD (1.86). Los rangos de sabor, terneza y jugosidad oscilaron entre 3.42 – 8.68, 4.87 – 8.77 y 3.73 – 7.50, respectivamente. Los tratamientos con los valores más altos de sabor, terneza y jugosidad estuvieron formulados con 20% CD (8.68), 20% PM (8.33) y 20% CD (7.05) respectivamente, mientras que aquellos con valores más bajos estaban formulados con 20% HL (sabor = 3.42, terneza = 4.87 y jugosidad = 2.98). Las características de los modelos de regresión para el análisis sensorial obtenidos de la matriz de diseño de mezclas se presentan en el **Cuadro 7**. El análisis sensorial descriptivo es una prueba que utiliza panelistas entrenados para definir el perfil sensorial o las características de un producto de manera absoluta en términos de apariencia, aroma, sabor, etc. (O'Sullivan, 2020). Los coeficientes de regresión del modelo para color en crudo fueron significativos ($P < 0.05$) para los componentes puros y para las mezclas HL-CD y PM-CD, mientras que para color en cocinado fueron significativos ($P < 0.05$) solo para los componentes puros. El color en crudo aumentó ($P < 0.05$) por la incorporación de HL ($\beta_1 = 3.04$) y PM ($\beta_2 = 3.64$), mientras que la incorporación de CD ($\beta_3 = -6.68$) tiende a disminuir ($P < 0.05$) el color en crudo. Los coeficientes negativos en las mezclas HL-CD ($\beta_{13} = -6.03$) y PM-CD ($\beta_{23} = -3.35$) indicaron que la combinación de los ingredientes con CD tiende a disminuir ($P < 0.05$) el color de las hamburguesas. Un patrón similar por el efecto de los ingredientes se observó para el color en cocinado. Diversos autores han reportado el efecto de la CD durante la reformulación de productos cárnicos, donde se encuentra una tendencia a disminuir el color de estos alimentos (Jarvis *et al.*, 2015). La representación gráfica de los modelos de regresión para el análisis sensorial obtenidos de la matriz de diseño de mezclas se presenta en la **Figura 10**

Cuadro 6. Atributos sensoriales (media \pm DE) de hamburguesas de res adicionadas con harina de linaza, pulpa de mango y ciruela deshidratada del diseño de mezclas simplex centroide.

Corrida	Ingredientes (%)			Valores experimentales				
	HL	PM	CD	Color crudo	Color cocinado	Sabor	Terneza	Jugosidad
1	20	0	0	8.1 \pm 1.2	6.0 \pm 1.3	3.7 \pm 1.6	4.8 \pm 2.4	3.7 \pm 2.0
2	0	20	0	7.9 \pm 1.4	7.4 \pm 1.4	6.7 \pm 1.3	8.3 \pm 1.0	6.6 \pm 1.7
3	0	0	20	1.8 \pm 0.8	2.6 \pm 1.6	8.3 \pm 0.8	7.8 \pm 1.1	7.0 \pm 1.3
4	0	10	10	4.5 \pm 1.9	4.8 \pm 1.9	7.2 \pm 0.7	7.5 \pm 1.2	5.9 \pm 1.5
5	10	0	10	3.8 \pm 1.6	4.1 \pm 1.5	4.6 \pm 1.8	6.4 \pm 1.7	4.3 \pm 2.3
6	10	10	0	8.5 \pm 0.9	7.1 \pm 1.1	4.3 \pm 1.4	6.5 \pm 1.7	5.1 \pm 1.5
7	6.6	6.6	6.6	5.1 \pm 2.2	4.3 \pm 1.4	6.0 \pm 1.0	6.5 \pm 1.7	6.1 \pm 1.5
8	13.3	3.3	3.3	6.4 \pm 1.4	5.1 \pm 1.5	4.1 \pm 1.4	7.0 \pm 1.3	4.3 \pm 1.2
9	3.3	13.3	3.3	7.0 \pm 1.2	7.0 \pm 1.2	6.7 \pm 1.1	8.7 \pm 1.1	7.5 \pm 1.2
10	3.3	3.3	13.3	2.7 \pm 1.3	3.5 \pm 1.1	7.3 \pm 1.0	8.1 \pm 1.2	7.0 \pm 1.3
11	20	0	0	8.2 \pm 0.9	6.6 \pm 1.4	3.4 \pm 1.5	5.7 \pm 1.8	2.9 \pm 1.6
12	0	20	0	8.7 \pm 1.0	7.7 \pm 1.4	6.7 \pm 0.8	8.0 \pm 1.0	6.9 \pm 1.2
13	0	0	20	2.1 \pm 2.5	2.8 \pm 1.8	8.6 \pm 0.8	7.1 \pm 1.7	6.9 \pm 0.9
14	6.6	6.6	6.6	4.8 \pm 1.7	5.4 \pm 1.4	5.7 \pm 0.7	6.9 \pm 1.2	5.3 \pm 1.4

HL = Harina de linaza, PM = pulpa de mango, CD = ciruela deshidratada. Las propiedades sensoriales fueron evaluadas por medio de escalas de 10 cm donde se evaluaron el color en crudo, color en cocinado, sabor, terneza y jugosidad (0 = rojo oscuro/ marrón oscuro/nada intenso/dura/seca; 10 = rojo brillante/ marrón claro/ muy intenso/ blanda/ Jugosa. n=15).

Cuadro 7. Coeficientes de regresión significativos para el análisis sensorial de hamburguesas de res.

VR	Promedio \pm DE	Coeficientes de Regresión							Modelos		
		β_1	β_2	β_3	β_{12}	β_{13}	β_{23}	β_{123}	R2	F-A	P
CCR	5.72 \pm 0.29	3.04	3.64	-6.68	NS	-6.03	-3.35	NS	0.99	0.65	p < 0.0001
CCO	5.36 \pm 0.48	1.11	3.35	-4.47	NS	NS	NS	NS	0.93	0.44	p < 0.0001
Sabor	6.00 \pm 0.28	-4.39	1.01	3.39	-3.13	-5.73	-1.05	22.59	0.98	0.08	p < 0.0001
Terneza	7.15 \pm 0.56	-2.49	1.77	0.71	NS	NS	NS	NS	0.75	0.27	p = 0.0004
Jugosidad	5.72 \pm 0.63	-3.66	1.91	1.75	NS	NS	NS	NS	0.83	0.14	p < 0.0001

VR= variable de respuesta; CCR= color en crudo; CCO = color en cocinado; β_1 = Harina de Linaza; β_2 = pulpa de mango; β_3 = ciruela deshidratada; F.A. = falta de ajuste; NS = no significativo (p>0.05).

En el gráfico de contorno de diseño de mezclas (**Figura 10a y Figura 10b**) una mayor concentración de HL y PM se relacionó con un color rojo brillante y marrón claro, mientras que una mayor concentración de CD se relacionó con un color rojo oscuro y marrón oscuro. Los coeficientes de regresión del modelo para sabor fueron significativos para los componentes puros y para las mezclas de dos y tres ingredientes. El sabor aumentó significativamente por la incorporación de CD ($\beta_3 = 3.39$) y PM ($\beta_2 = 1.01$), mientras que disminuyó significativamente por la incorporación de HL ($\beta_1 = -4.39$). Las mezclas de dos ingredientes contienen coeficientes de regresión negativos, esto indica que el detrimento del sabor por la HL no pudo ser contrarrestado por la combinación HL-PM ($\beta_{12} = -3.13$) o HL-CD ($\beta_{13} = -5.73$). Sin embargo, el coeficiente de regresión de la mezcla HL-PM-CD ($\beta_{123} = 22.59$) se relacionó con un aumento significativo del sabor, lo cual indica que es posible compensar el efecto negativo que aporta la HL en el producto incorporando una combinación apropiada con PM y CD. Investigaciones similares donde se ha combinado linaza con quitosano o linaza con aceite de canola no han logrado revertir completamente los atributos sensoriales negativos que aporta la linaza en la carne (Akesowan, 2015; Hautrive *et al.*, 2019). En el gráfico de contorno de diseño de mezclas (**Figura 10c**) una mayor concentración de CD y PM se relacionó con un sabor intenso a hamburguesa, mientras que una mayor concentración de HL se relacionó con un sabor menos intenso. Los coeficientes de regresión del modelo para terneza fueron significativos solo para los componentes puros. La terneza aumentó por la incorporación de PM ($\beta_2 = 1.77$), tuvo un valor intermedio por la CD ($\beta_3 = 0.71$) y disminuyó por la incorporación de HL ($\beta_1 = -2.49$). Un aumento de la terneza se relacionó con la incorporación de ingredientes con mayor contenido de agua, puesto que la PM tuvo un efecto notable al aumentar terneza. Se ha reportado que diversas enzimas proteolíticas presentes en frutos tienen la propiedad de tenderizar la carne por medio de hidrólisis, esto podría atribuirse al efecto de la PM debido a su contenido de serin-proteasas presentes en la cáscara y pulpa (Mehnoush *et al.*, 2014). En el gráfico de contorno de diseño de mezclas (**Figura 10d**) una mayor concentración de PM y CD se relacionó con una hamburguesa blanda, mientras que una mayor concentración de HL se relacionó a una hamburguesa dura. Los coeficientes de regresión del modelo para jugosidad fueron significativos solo para los componentes puros. La jugosidad aumentó por la incorporación de PM ($\beta_2 = 1.91$) o CD ($\beta_3 = 1.75$) y disminuyó por la incorporación de HL ($\beta_1 = -3.66$). Una investigación realizada en por Gülen y Meltem (2010) comparó el efecto de ciruela fresca y deshidratada sobre la dureza y jugosidad de la carne, donde se encontró que solo la versión fresca

generó una carne más blanda lo cual contrasta bien con los resultados obtenidos por la incorporación de PM y CD. En el gráfico de contorno de diseño de mezclas (**Figura 10e**) un mayor porcentaje de PM y CD se relacionó con una hamburguesa jugosa, mientras que un mayor porcentaje de HL se relacionó con una hamburguesa seca. La matriz de correlaciones de Pearson muestra una correlación positiva ($r = 0.87$) entre a^* – color en crudo (**Figura 11a**), lo cual indica que un aumento del valor a^* se relaciona directamente con un aumento en la percepción del color en la carne (color rojo brillante). Por otro lado, se obtuvo una correlación positiva ($r = 0.81$) entre un aumento de sabor y una disminución de pH (**Figura 11b**), lo cual contrasta bien con los modelos de regresión obtenidos, ya que un aumento de los ingredientes ácidos (PM y CD) en la formulación se relacionó con un sabor intenso. Finalmente, se obtuvo una correlación negativa ($r = -0.85$) entre ternura y jugosidad (**Figura 11c**), lo cual indicó que un aumento del RC se relacionó con una hamburguesa más seca, esto contrasta bien con lo obtenido en los datos experimentales, ya que la HL fue el componente que aportó un mayor rendimiento y a su vez fue el que recibió los puntajes más bajos de jugosidad en el análisis sensorial.

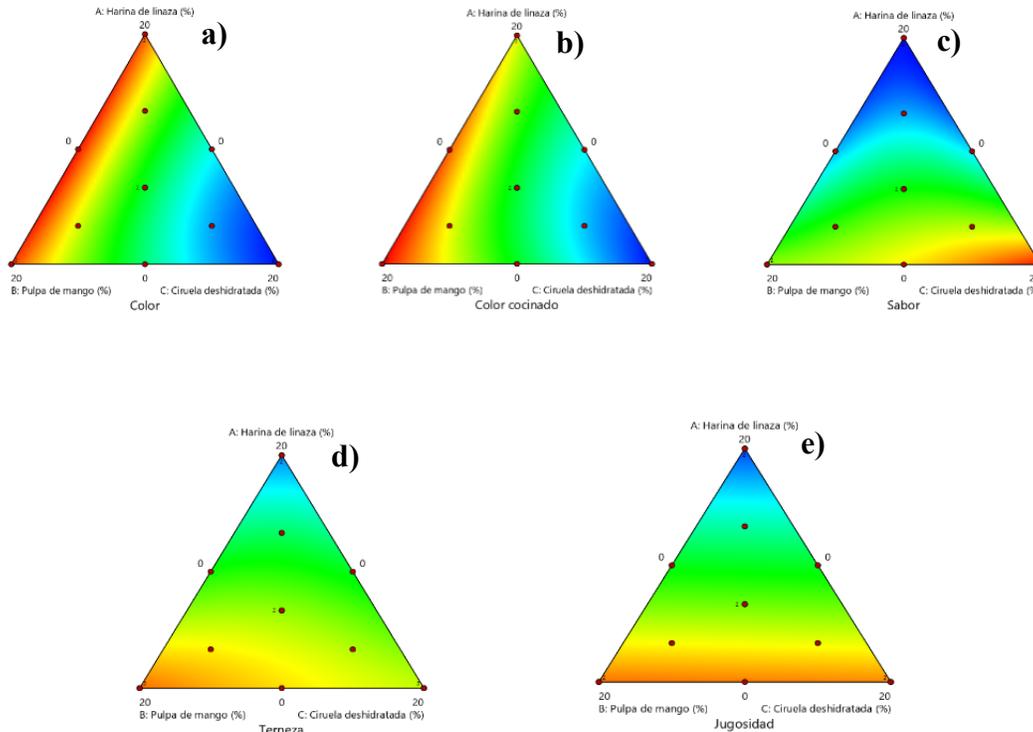


Figura 10. Gráfico de contorno de diseño de mezclas para atributos sensoriales: a) color en crudo, b) color en cocinado, c) sabor, d) ternura, y e) jugosidad de hamburguesas de res adicionadas con HL, PM y CD.

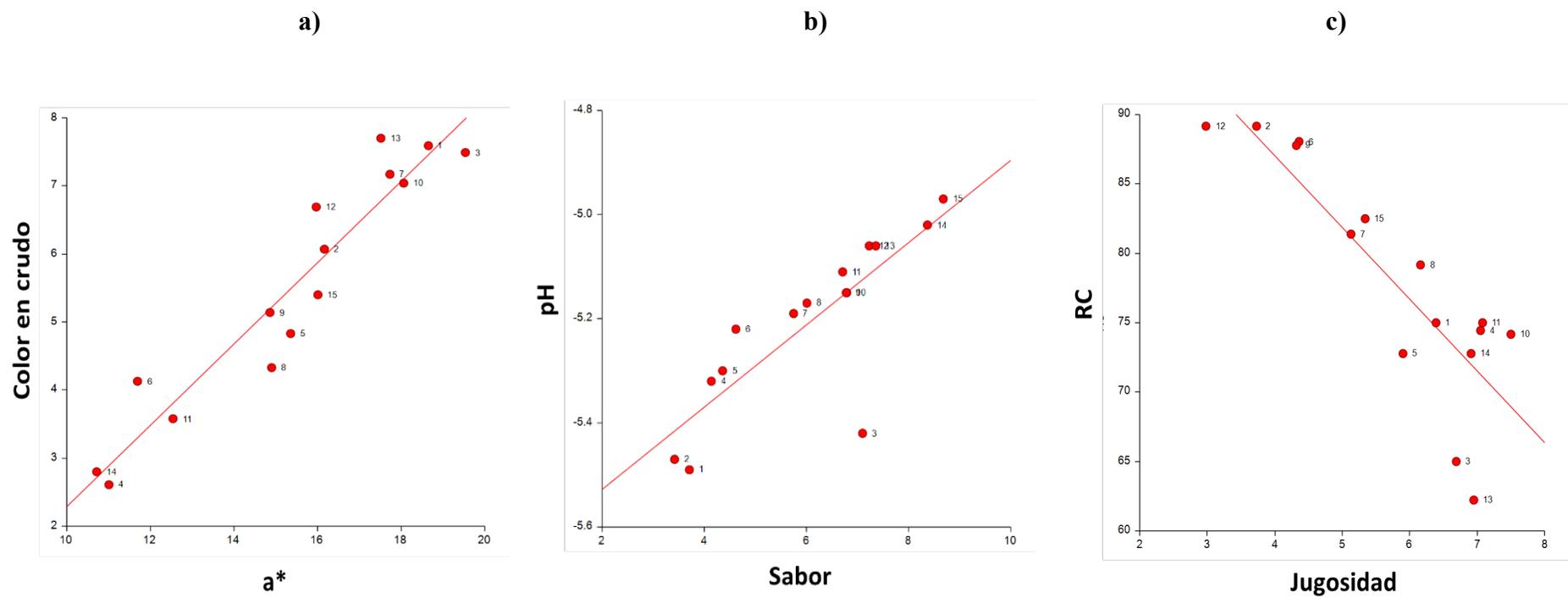


Figura 11. Gráfico de la asociación lineal entre: **a)** a^* y color en crudo ($r=0.87$, $P<0.05$); **b)** sabor y pH ($r = 0.81$, $P<0.05$); **c)** encogimiento y jugosidad ($r=0.87$, $P<0.05$).

6.4 Optimización y Validación de Modelos de Regresión

Los resultados de la optimización simultánea de múltiples respuestas se resumen en la **Cuadro 8**. Los criterios de optimización para las variables fisicoquímicas se establecieron de acuerdo a las mediciones de una hamburguesa control (20% de grasa de res) sin la incorporación de HL, PM y CD, mientras que los criterios de optimización para las variables sensoriales se maximizaron; todos los criterios fueron evaluados con el mismo nivel de importancia (+++). Se utilizó la técnica de optimización numérica multi-respuesta (software Design-Expert) para determinar la mejor combinación de HL, PM y CD que generara la hamburguesa de mayor calidad. Los valores de las variables independientes se mantuvieron dentro del rango experimental (0 – 20%). El resultado de la optimización generó la siguiente solución: 6% HL, 9% PM y 5% CD con una deseabilidad general de 0.601. Para la optimización, se incluyeron solamente las respuestas con un coeficiente de determinación $R^2 > 0.8$, por lo que se excluyó el análisis de elasticidad, encogimiento por cocción y terneza.

El **Cuadro 8** muestra la comparación entre los valores predichos obtenidos de los modelos de regresión y los valores experimentales obtenidos en laboratorio. Los modelos de regresión para determinación del valor L^* y b^* en crudo y la dureza de las formulaciones óptimas no pudieron ser validados debido a que se encontraron valores mayores a los predichos ($p < 0.05$), sin embargo, el resto de los modelos pudieron validarse ya que no existen diferencias ($p > 0.05$) entre los valores predichos y los valores experimentales.

Cuadro 8. Valores predichos vs valores experimentales de parámetros fisicoquímicos y sensoriales de hamburguesas de res.

Respuesta	Criterio de optimización	Valor predicho	IC 95%	Valor experimental
<i>L*</i>	En el rango (31.81 – 45.12)	39.82	39.48 - 40.17	45.34
<i>a*</i>	En el rango (10.71 – 19.53)	15.57	15.06 - 16.08	15.65
<i>b*</i>	En el rango (12.82 – 20.08)	17.77	17.75 - 18.06	18.45
RC	Maximizar	82.31	80.28 - 84.36	80.42
pH	Maximizar	5.23	5.22 - 5.24	5.24
Color crudo	Maximizar	5.82	5.58 - 6.06	5.75
Color cocinado	Maximizar	5.66	5.37 - 5.96	5.66
Sabor	Maximizar	5.54	5.15 - 5.94	5.74
Jugosidad	Maximizar	5.42	5.04 – 5.80	5.55
Dureza	En el rango (3.77 – 6.12)	4.94	3.77 – 6.12	8.70
Cohesividad	En el rango (0.33 – 0.36)	0.32	0.33 - 0.36	0.35
Masticabilidad	En el rango (0.56 – 1.45)	1.00	0.56 - 1.45	1.43

7. CONCLUSIÓN

La modificación nutricional de la carne con ingredientes no tradicionales representa un gran reto para la ciencia de la carne, debido a que los ingredientes incorporados deben mimetizar el efecto de los ingredientes originales sin generar un detrimento en su calidad. El diseño de mezclas fue una herramienta útil para estudiar el efecto de ingredientes novedosos durante el desarrollo de productos cárnicos funcionales. En este estudio, la incorporación de cada ingrediente tuvo un efecto particular en la calidad fisicoquímica y sensorial de las hamburguesas de res. La harina de linaza aumentó los valores de color, pH y el rendimiento de cocinado, sin embargo, generó un detrimento en la textura, sabor, terneza y jugosidad del producto. La pulpa de mango aumentó los valores de color, textura y atributos sensoriales, sin embargo, generó un menor pH y rendimiento de cocinado. La ciruela deshidratada aumentó el rendimiento de cocinado, la textura, el sabor, la terneza y jugosidad del producto, pero disminuyó el pH y el rendimiento, además de que generó un detrimento en el color. Con los modelos de regresión obtenidos del diseño de mezclas se pudo investigar el efecto de cada ingrediente por separado y la interacción entre ellos sobre la calidad fisicoquímica y sensorial de hamburguesas de res, reduciendo asimismo el número de posibles experimentos a realizar. Además, los modelos de regresión fueron utilizados para obtener una formulación óptima (6% HL, 9% PM y 5% CD) con características de calidad aceptables. En el presente estudio se logró aumentar dos veces la cantidad máxima (3%) de linaza reportada en otros estudios y se logró reducir los efectos negativos que aporta la HL sin generar detrimento en la calidad fisicoquímica y sensorial de las hamburguesas, por medio de la combinación con mango y ciruela deshidratada.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un análisis proximal y un perfil de ácidos grasos de la formulación óptima para comparar sus propiedades nutricionales contra una hamburguesa comercial y finalmente realizar un estudio de vida de anaquel para determinar el efecto de los compuestos antioxidantes sobre la calidad fisicoquímica y microbiológica del producto optimizado.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Afshari, R., Hosseini, H., Khaneghah, A. M., & Khaksar, R. (2017). Physico-chemical properties of functional low-fat beef burgers: Fatty acid profile modification. *LWT-Food Science and Technology*, 78, 325-331.
- Akesowan, A. (2015). Optimization of light pork burgers formulated with canola oil and linseed/sunflower seed/almond (LSA) mix. *J. of Animal and Plant Sciences*, 25(1), 268-277.
- Al, H. A., Abdulkarim, M., Rasedee, M. E. S. M., & Mothanna, A.-Q. (2014). Cytotoxic effects of *Mangifera indica* L. kernel extract on human breast cancer (MCF-7 and MDA-MB-231 cell lines) and bioactive constituents in the crude extract. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 199.
- American Heart Association. (2020). Saturated Fats. from <https://www.heart.org/en/healthy-living/healthy-eating/eat-smart/fats/saturated-fats>
- Ansorena, D., & Astiasarán, I. (2013). Enrichment of meat products with omega-3 fatty acids by methods other than modification of animal diet *Food enrichment with omega-3 fatty acids* (pp. 299-318): Elsevier.
- Aschemann-Witzel, J., Varela, P., & Peschel, A. O. (2019). Consumers' categorization of food ingredients: Do consumers perceive them as 'clean label' producers expect? An exploration with projective mapping. *Food Quality and Preference*, 71, 117-128.
- Asif, A., Farooq, U., Akram, K., Hayat, Z., Shafi, A., Sarfraz, F., . . . Aftab, S. (2016). Therapeutic potentials of bioactive compounds from mango fruit wastes. *Trends in Food Science & Technology*, 53, 102-112.
- Asioli, D., Aschemann-Witzel, J., Caputo, V., Vecchio, R., Annunziata, A., Næs, T., & Varela, P. (2017). Making sense of the "clean label" trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. *Food Research International*, 99, 58-71.
- Baugreet, S., Kerry, J. P., Allen, P., & Hamill, R. M. (2017). Optimisation of protein-fortified beef patties targeted to the needs of older adults: a mixture design approach. *Meat Science*, 134, 111-118.
- Beriain, M. J., Gómez, I., Ibáñez, F. C., Sarriés, M. V., & Ordóñez, A. I. (2018). Improvement of the functional and healthy properties of meat products *Food quality: Balancing health and disease* (pp. 1-74): Elsevier.
- Bhat, A. A., Arvind, K., Sheikh, S. A., dar, M. Y., & u, H. Z. (2017). Utilisation of Mango Peel Powder as Phytopreservative in the Refrigeration Storage of Chicken Cutlets.
- Bilek, A. E., & Turhan, S. (2009). Enhancement of the nutritional status of beef patties by adding flaxseed flour. *Meat Science*, 82(4), 472-477.
- Botez, E., Nistor, O. V., Andronoiu, D. G., & Ghinea, I. O. (2017). Meat Product Reformulation: Nutritional Benefits and Effects on Human Health *Functional Food: Improve Health through Adequate Food* (pp. 167).

- Bourne, M. C. (1978). Texture profile analysis. *Food Technol.*, 32, 62-66.
- Cassens, R., Demeyer, D., Eikelenboom, G., Honikel, K., Johansson, G., Nielsen, T., Sakata, R. (1995). *Recommendation of reference methods for meat color*. Paper presented at the Proc. 41th ICoMST, San Antonio, USA, Aug. 20-25, pp. 410-411, 1995.
- Claus, J. R. (1995). *Methods for the objective measurement of meat product texture*. Paper presented at the Reciprocal Meat Conference Proceedings.
- Colmenero, F. J. (2000). Relevant factors in strategies for fat reduction in meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 11(2), 56-66.
- Chen, J., & Rosenthal, A. (2015). Food texture and structure *Modifying Food Texture* (pp. 3-24): Elsevier.
- de Gonzalez, M. N., Hafley, B., Boleman, R., Miller, R., Rhee, K., & Keeton, J. (2008). Antioxidant properties of plum concentrates and powder in precooked roast beef to reduce lipid oxidation. *Meat Science*, 80(4), 997-1004.
- do Prado, M. E. A., Queiroz, V. A. V., da Veiga Correia, V. T., Neves, E. O., Ronchetti, E. F. S., Gonçalves, A. C. A., . . . de Oliveira, F. C. E. (2019). Physicochemical and sensorial characteristics of beef burgers with added tannin and tannin-free whole sorghum flours as isolated soy protein replacer. *Meat Science*, 150, 93-100.
- Dunbar, B., Bosire, R., & Deckelbaum, R. (2014). Omega 3 and omega 6 fatty acids in human and animal health: an African perspective. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 398(1-2), 69-77.
- Feiner, G. (2006). *Meat products handbook: Practical science and technology*: Elsevier.
- Fernández, L. C., Serra, J. D., Álvarez, J. M., Alberich, R. S., & Jiménez, F. P. (2011). Grasas de la dieta y salud cardiovascular. *Clínica e Investigación en Arteriosclerosis*, 23, 1-36.
- Grant, A. Q., & Parveen, S. (2017). All natural and clean-label preservatives and antimicrobial agents used during poultry processing and packaging. *Journal of Food Protection*, 80(4), 540-544.
- Gutiérrez Pulido, H., & Salazar, V. (2004). Análisis y diseño de experimentos.
- Hautrive, T. P., Piccolo, J., Rodrigues, Á. S., Campagnol, P. C. B., & Kubota, E. H. (2019). Effect of fat replacement by chitosan and golden flaxseed flour (wholemeal and defatted) on the quality of hamburgers. *LWT*, 102, 403-410.
- Heck, R. T., Vendruscolo, R. G., de Araújo Etchepare, M., Cichoski, A. J., de Menezes, C. R., Barin, J. S., . . . Campagnol, P. C. B. (2017). Is it possible to produce a low-fat burger with a healthy n-6/n-3 PUFA ratio without affecting the technological and sensory properties? *Meat Science*, 130, 16-25.
- Hu, H., Zhao, Q., Pang, Z., Xie, J., Lin, L., & Yao, Q. (2018). Optimization extraction, characterization and anticancer activities of polysaccharides from mango pomace. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 1314-1325.
- Hung Minh Le. (2012). *Antioxidative effects of mango wastes on shelf life of pork products*. Lincoln University.
- Hunt, M., Acton, J., Benedict, R., Calkins, C., Cornforth, D., Jeremiah, L., . . . , & Shivas, S. (1991).

Guidelines for meat color evaluation. Paper presented at the Annual Reciprocal Meat Conference Proceedings.

- Jarvis, N., Clement, A. R., O'Bryan, C. A., Babu, D., Crandall, P. G., Owens, C. M., . . . Ricke, S. C. (2012). Dried plum products as a substitute for phosphate in chicken marinade. *Journal of Food Science*, *77*(6), S253-S257.
- Jarvis, N., O'Bryan, C. A., Ricke, S. C., & Crandall, P. G. (2015). The functionality of plum ingredients in meat products: A review. *Meat Science*, *102*, 41-48.
- Keenan, D. F., Resconi, V. C., Kerry, J. P., & Hamill, R. M. (2014). Modelling the influence of inulin as a fat substitute in comminuted meat products on their physico-chemical characteristics and eating quality using a mixture design approach. *Meat Science*, *96*(3), 1384-1394.
- Keenan, D. F., Resconi, V. C., Smyth, T. J., Botinestean, C., Lefranc, C., Kerry, J. P., & Hamill, R. M. (2015). The effect of partial-fat substitutions with encapsulated and unencapsulated fish oils on the technological and eating quality of beef burgers over storage. *Meat Science*, *107*, 75-85.
- Kotzekidou, P. (2016). Hamburgers: characteristics and cookery. In A. Press (Ed.), *Food Hygiene and Toxicology in Ready-to-Eat Foods* (pp. 108).
- Kumar, N., & Goel, N. (2019). Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnology Reports*, e00370.
- Maldonado-Celis, M. E., Yahia, E. M., Bedoya, R., Landázuri, P., Loango, N., Aguillón, J., . . . Ospina, J. C. G. (2019). Chemical composition of mango (*Mangifera indica* L.) fruit: nutritional and phytochemical compounds. *Frontiers in Plant Science*, *10*.
- Mehrnoush, A., & Manap, Y. (2014). Purification of serine proteases from mango (*Mangifera indica* cv. Chokanan) peel using expanded bed adsorption: Optimisation using response surface methodology. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, *12*(2), 107-110.
- Minolta, K. (2018). Entendiendo El Espacio de Color CIE L*a*b*. from <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>
- Multimedios. (2017). ¿Cuáles son los cortes de carne más consumidos por los mexicanos? , from <https://www.multimedios.com/telediario/tendencias/son-cortes-carne-mas-consumidos.html>
- Nikmaram, N., Budaraju, S., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Cox, R. B., Mallikarjunan, K., & Roohinejad, S. (2018). Application of plant extracts to improve the shelf-life, nutritional and health-related properties of ready-to-eat meat products. *Meat Science*, *145*, 245-255.
- Nunez de Gonzalez, M., Boleman, R., Miller, R., Keeton, J., & Rhee, K. (2008). Antioxidant properties of dried plum ingredients in raw and precooked pork sausage. *Journal of Food Science*, *73*(5), H63-H71.
- O'Sullivan, M. (2020). Descriptive methods for reformulation. In W. Publishing (Ed.), *Salt, fat and sugar reduction*.
- Pereira, A. L. F., Vidal, T. F., Teixeira, M. C., Oliveira, P. F. d., Pompeu, R. C. F. F., Vieira, M. M. M., & Zapata, J. F. F. (2011). Antioxidant effect of mango seed extract and butylated hydroxytoluene in bologna-type mortadella during storage. *Food Science and Technology*, *31*(1), 135-140.

- Reyes-Padilla, E., Valenzuela-Melendres, M., Camou, J. P., Sebranek, J. G., Alemán-Mateo, H., Dávila-Ramírez, J. L., . . . González-Ríos, H. (2018). Quality evaluation of low fat bologna-type meat product with a nutritional profile designed for the elderly. *Meat Science*, *135*, 115-122.
- Ribeiro, J. S., Santos, M. J. M. C., Silva, L. K. R., Pereira, L. C. L., Santos, I. A., da Silva Lannes, S. C., & da Silva, M. V. (2019). Natural antioxidants used in meat products: A brief review. *Meat Science*, *148*, 181-188.
- Selani, M. M., Shirado, G. A., Margiotta, G. B., Rasera, M. L., Marabesi, A. C., Piedade, S. M., . . . Canniatti-Brazaca, S. G. (2016). Pineapple by-product and canola oil as partial fat replacers in low-fat beef burger: Effects on oxidative stability, cholesterol content and fatty acid profile. *Meat Science*, *115*, 9-15.
- Sephora, B., Kerry, J. P., Botineştean, C., Allen, P., & Hamill, R. M. (2016). Development of novel fortified beef patties with added functional protein ingredients for the elderly. *Meat Science*, *122*, 40-47.
- Serna-Cock, L., García-Gonzales, E., & Torres-León, C. (2016). Agro-industrial potential of the mango peel based on its nutritional and functional properties. *Food Reviews International*, *32*(4), 364-376.
- Singh, K., Mridula, D., Rehal, J., & Barnwal, P. (2011). Flaxseed: a potential source of food, feed and fiber. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *51*(3), 210-222.
- Szerman, N., Ferrari, R., Sancho, A. M., & Vaudagna, S. (2019). *Response surface methodology study on the effects of sodium chloride and sodium tripolyphosphate concentrations, pressure level and holding time on beef patties properties*. LWT, (109).
- Toldrá, F. (2017). *Lawrie's meat science*: Woodhead Publishing.
- Torres-León, C., Rojas, R., Contreras-Esquivel, J. C., Serna-Cock, L., Belmares-Cerda, R. E., & Aguilar, C. N. (2016). Mango seed: Functional and nutritional properties. *Trends in Food Science & Technology*, *55*, 109-117.
- USDA. (2019). Mexico Livestock and Products Annual.
- Valenzuela-Melendres, M., Camou, J. P., Torrentera-Olivera, N. G., Álvarez Almora, E., González Mendoza, D., Avedaño Reyes, L., & González-Rios, H. (2014). Response surface methodology for predicting quality characteristics of beef patties added with flaxseed and tomato paste. *Meat Science*, *97*(1), 54-61.
- Valenzuela-Melendres, M., Camou, J. P., Torrentera-Olivera, N. G., Viuda-Martos, M., & González-Rios, H. (2018). Nutritional quality of beef patties with added flaxseed and tomato paste. *CyTA-Journal of Food*, *16*(1), 263-270.
- Yıldız-Turp, G. y., & Serdaroglu, M. (2010). Effects of using plum puree on some properties of low fat beef patties. *Meat Science*, *86*(4), 896-900.
- Zhang, W., Xiao, S., Samaraweera, H., Lee, E. J., & Ahn, D. U. (2010). Improving functional value of meat products. *Meat Science*, *86*(1), 15-31.