



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

INGENIERÍA EN ALIMENTOS

TESIS

**EFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE HARINA SUSTENTABLE DE YACA
(*ARTOCARPUS HETEROPHYLLUS LAM.*) EN LA PRODUCCIÓN DE
CARNE PARA HAMBURGUESA**

Para Obtener el Título de Ingeniera en Alimentos

PRESENTA

Aranza Rubí Jiménez Pérez

Director:

Dr. Roberto González Tenorio

Co-director (a):

Dra. Elizabeth Pérez Soto

Comité tutorial

Dr. Sergio Soto Simental

Mtro. M. Jesús Franco Fernández

Tulancingo de Bravo, Hgo., México., diciembre 2024



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos

Academic Area of Agroindustrial engineering and Food Engineering

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 06 de diciembre de 2024

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado

Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado al pasante de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos, **Aranza Rubí Jiménez Pérez**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **“Efecto de la incorporación de harina sustentable de Yaca (*Artocarpus Heterophyllus Lam.*) en la producción de carne para hamburguesa”**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

PRESIDENTE	DR. ROBERTO GONZÁLEZ TENORIO
SECRETARIO	DRA. ELIZABETH PÉREZ SOTO
VOCAL 1	DR. SERGIO SOTO SIMENTAL
SUPLENTE 1	MTRO. MELITON JESÚS FRANCO FERNÁNDEZ

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
“Amor, Orden y Progreso”

Dr. Ricardo Navarro Cortez
Coordinador de Ingeniería en
alimentos.



Av. Universidad Km 1 Exhacienda de Aquetzalpa
C.P. 43600. Tulancingo, Hidalgo, México
Teléfono: 7717172000 Ext. 42060
ricardo_navarro@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS:

A mis directores de Tesis: Dr. Roberto González Tenorio y Dra. Elizabeth Pérez Soto, por confiar en mí y dirigirme en este arduo camino, por su valioso tiempo, los conocimientos compartidos y sobre todo por la paciencia que tuvieron conmigo. Sus enseñanzas me las llevo en el corazón.

A mis asesores: Dr. Sergio Soto Simental y Mtro. Melitón Jesús Franco Fernández, por siempre tener esa palabra de aliento cuando más la necesitaba y por el apoyo que me brindaron siempre.

A Forrajes y Carnes de Santiago Tulantepec SPR de RL por darme la confianza para llevar a cabo esta investigación y a los amigos que hice ahí, gracias por todo.

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por darme los conocimientos estos años y contribuir a mi formación profesional.

A los amigos que hice en el camino y a los que siempre me han acompañado, por siempre impulsarme a seguir, por los buenos momentos y por los no tan buenos: Dora, Belén, Lupita, Arely, Joel, Perlita, Dytza...

A mi madre: Begonia, por siempre estar detrás de mí y ser la fuerza que me impulsó durante toda mi vida para llegar hasta aquí, cada momento ha valido la pena. **A mi padre:** Francisco porque a pesar de no estar físicamente sé que me cuidó durante todo este tiempo y lo más importante: me enseñó a soñar en grande. **A mis hermanas:** Janeth, Sara y Laura, por ser más que un hombro para llorar durante todo este recorrido y echarme porras cada que sentía no poder más. Sin ustedes nada de esto sería posible. **A mis sobrinos:** Mi pequeño Tadeo, por ser la sonrisa que me recargaba cada que volvía a casa, a Esmeralda y Francisco por siempre estar para mí.

DEDICATORIA

A mis padres

Begonia Pérez Peralta

Francisco Jiménez Barrios †

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVO GENERAL	3
2.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3.	HIPÓTESIS	4
4.	MARCO TEÓRICO	4
4.1.	INVESTIGACIONES PREVIAS	4
4.2.	HISTORIA, DESCRIPCIÓN Y ORIGEN DE LAS HAMBURGUESAS	6
4.3.	DESCRIPCIÓN GENERAL	7
4.4.	PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE LAS HAMBURGUESAS	7
4.4.1.	COMPOSICIÓN PROXIMAL	8
4.4.2.	PH Y ACTIVIDAD DE AGUA	8
4.4.3.	TEXTURA Y JUGOSIDAD	8
4.4.4.	CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA Y PÉRDIDA DE PESO DURANTE LA COCCIÓN	8
4.4.5.	IMPACTO EN LA CALIDAD SENSORIAL	9
4.4.6.	ACEPTACIÓN POR PARTE DE LOS CONSUMIDORES	9
4.4.7.	SOSTENIBILIDAD Y REDUCCIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	9
4.5.	EVALUACIÓN SENSORIAL DE PRODUCTOS CÁRNICOS	9
4.5.1.	IMPORTANCIA DE LA EVALUACIÓN SENSORIAL	10
4.5.2.	MÉTODOS DE EVALUACIÓN SENSORIAL	10
4.5.3.	ASPECTOS TECNOLÓGICOS Y PROCESAMIENTO	10
4.5.4.	FORMULACIÓN, MEZCLADO, PROCESAMIENTO TÉRMICO Y SU IMPACTO EN LA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL	11
4.5.5.	ASPECTOS ECONÓMICOS Y DE MERCADO	11
4.5.6.	NORMAS DE SEGURIDAD ALIMENTARIA	12
4.5.7.	APROBACIONES Y CERTIFICACIONES	12
4.5.7.1.	Regulación de innovaciones alimentarias	12
4.5.7.2.	Consideraciones internacionales	13
4.6.	EL FRUTO DE LA YACA	13
4.6.1.	PRODUCCIÓN NACIONAL	14
4.6.2.	BENEFICIOS EN LA SALUD	14
4.6.3.	SUBPRODUCTOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	15
4.7.	COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA CARNE	16
4.7.1.	EL COLOR DE LA CARNE	17
4.7.2.	PROTEÍNAS DE LA CARNE	19
4.7.3.	PH DE LA CARNE	20
4.7.4.	ACTIVIDAD DE AGUA EN LA CARNE	21
4.7.5.	ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA EN LA CARNE	21
4.7.6.	USO DE LA GRASA EN PRODUCTOS CÁRNICOS	22
4.7.7.	CONSUMO DE CARNE Y PRODUCTOS CÁRNICOS	23
4.7.7.1.	Carne y productos cárnicos relacionados con la obesidad	25
4.8.	BENEFICIOS DEL APORTE DE FIBRA EN LA ALIMENTACIÓN	25
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	27
5.1.	OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS HARINAS DE YACA	27

5.1.1.	RENDIMIENTO DE LOS COMPONENTES DE LA YACA	28
5.2.	FABRICACIÓN DE LA CARNE PARA HAMBURGUESA CON FIBRA DE YACA	28
5.2.1.	PREPARACIÓN DE LA MASA CÁRNICA	28
5.2.2.	MEZCLADO.....	28
5.2.2.1.	Formación de la hamburguesa	29
5.2.2.2.	Almacén de las muestras.....	29
5.3.	ANÁLISIS EXPERIMENTAL	30
5.3.1.	CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS	30
5.3.1.1.	pH	30
5.3.1.2.	Actividad de agua (aw)	30
5.3.1.3.	Color	30
5.3.1.4.	Método de cocción y cálculo de las pérdidas de peso durante el proceso	30
5.3.1.5.	Análisis de perfil de textura (TPA)	31
5.4.	ANÁLISIS PROXIMAL.....	31
5.4.1.	HUMEDAD	31
5.4.2.	PROTEÍNA	32
5.4.3.	GRASA.....	34
5.4.4.	CENIZAS.....	35
5.4.5.	FIBRA	36
5.5.	ANÁLISIS SENSORIAL	37
5.6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	37
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
6.1.	CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS	38
6.1.1.	RENDIMIENTO DE LOS COMPONENTES DE LA YACA	38
6.1.2.	PH Y ACTIVIDAD DE AGUA EN LA CARNE PARA HAMBURGUESA	39
6.1.3.	PÉRDIDAS DE PESO A LA COCCIÓN.....	40
6.1.4.	COLOR.....	42
6.1.5.	ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA.....	44
6.1.6.	ANÁLISIS PROXIMAL	45
6.1.7.	ANÁLISIS SENSORIAL.....	49
7.	CONCLUSIONES	51
8.	REFERENCIAS.....	53
9.	ANEXOS	62

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UN MÚSCULO DE MAMÍFERO ADULTO	17
TABLA 2. FORMULACIÓN EMPLEADA PARA LA FABRICACIÓN DE LAS HAMBURGUESAS	29
TABLA 3. RENDIMIENTO DE LOS COMPONENTES DE LA YACA EN FRESCO Y EN SECO	38
TABLA 4. RESULTADOS DEL VALOR DEL PH Y DE LA ACTIVIDAD DE AGUA (AW) EN LAS MUESTRAS CRUDAS DE CARNE PARA HAMBURGUESA DE LOS DISTINTOS TRATAMIENTOS EVALUADOS	40
TABLA 5. PÉRDIDA DE PESO Y REDUCCIÓN DE TAMAÑO (ESPESOR) DURANTE EL PROCESO DE COCCIÓN DE LA CARNE PARA HAMBURGUESA.....	41
TABLA 6. PARÁMETROS DE COLOR DE LAS DISTINTAS FORMULACIONES DE CARNE PARA HAMBURGUESA.....	43
TABLA 7. ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA (DUREZA, RESILIENCIA, COHESIVIDAD Y ELASTICIDAD DE LA CARNE PARA HAMBURGUESAS.....	44
TABLA 8. ANÁLISIS PROXIMAL (%) DE LA CARNE PARA HAMBURGUESA INCORPORADA CON FIBRA DE SEMILLA Y CÁSCARA DE YACA	45

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. COORDENADAS DE COLOR EN EL SISTEMA HUNTER LAB.....	19
FIGURA 2. TAMIZ Y HARINA OBTENIDA PARA EL PROCESO DE INCORPORACIÓN EN LA CARNE	27
FIGURA 3. EQUIPO UTILIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA	36
FIGURA 4. PRUEBA DE LA MEDICIÓN DEL NIVEL DE AGRADO DE LAS MUESTRAS	49

RESUMEN

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo principal evaluar la calidad fisicoquímica, textural y sensorial de la carne para hamburguesas con harina de cáscara y de semilla de yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*). Para ello, se obtuvo la harina a partir de estos subproductos de la yaca, que fueron procesados y analizados. Este estudio incluyó la evaluación de los parámetros fisicoquímicos de la carne como el pH, la actividad de agua, el color, así como el análisis de las pérdidas de peso durante el proceso de cocción y el encogimiento de la carne. También se midió el rendimiento de los diferentes componentes de la yaca respecto al peso fresco del fruto. En la fabricación de la carne para hamburguesa adicionada con harina de yaca, además, se realizaron análisis de perfil de textura y análisis proximales para determinar los contenidos de humedad, proteína, grasa, cenizas y fibra. Un análisis sensorial basado en una prueba del grado de satisfacción permitió evaluar la aceptación del producto, lo que permitió identificar diferencias significativas en los parámetros de calidad y aceptabilidad de las hamburguesas con fibras de la yaca. Los resultados muestran que la cáscara de la yaca representa más del 50% del peso de la fruta, por lo que se propone su uso como fuente de harina o fibra para enriquecer productos cárnicos procesados. En la carne para hamburguesa, la adición de harina de yaca disminuyó el pH y la actividad de agua (aw), lo que puede mejorar la vida útil del producto. No se encontraron diferencias significativas en el contenido de humedad ni en las mermas por cocimiento. El tratamiento con harina de cáscara mostró mayor contenido de grasa y el control destacó por tener un mayor contenido en proteínas. El tratamiento que tuvo mayor aceptación fue en la muestra control debido a la mejor percepción sensorial.

1. INTRODUCCIÓN

La carne para hamburguesa es uno de los productos cárnicos más consumidos en el mundo, pero enfrenta muchas críticas debido a su alto contenido en grasas saturadas y, por otro lado, su impacto ambiental. En este sentido, la yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*), que es una fruta tropical rica en fibras y nutrientes podría ser utilizada como fuente de ingredientes funcionales (Herrera-Canto, 2015). Sin embargo, el potencial de uso de las harinas obtenidas a partir de la cáscara y semilla de la yaca para enriquecer la carne de hamburguesa no ha sido plenamente estudiado.

La calidad de la carne para hamburguesa puede variar significativamente dependiendo de muchos factores como la composición de la carne, el pH, la cantidad de grasa en la formulación, la textura y el sabor. Entre los ingredientes con un potencial para desarrollar productos cárnicos más saludables se encuentran la harina de linaza, de la pulpa de mango y ciruela deshidratada (Montalvo–Navarro *et al.*, 2022). En este sentido la harina de yaca, podría no solo mejorar la calidad nutricional de la carne para hamburguesa, sino también influir en sus propiedades fisicoquímicas de textura y características sensoriales.

Este estudio es pertinente debido a la necesidad de desarrollar alimentos más saludables y sostenibles en respuesta a la creciente preocupación por la salud pública y el medio ambiente. La utilización de harinas de yaca no solo puede mejorar el perfil nutricional de las hamburguesas al incrementar su contenido de fibra dietética, sino que también puede contribuir a la sostenibilidad al aprovechar subproductos agrícolas que de otro modo serían desechados como la cáscara y la semilla.

La innovación en productos cárnicos mediante la incorporación de ingredientes funcionales como la yaca puede satisfacer las demandas de los consumidores por alimentos más naturales y nutritivos, al tiempo que promueve prácticas agrícolas y alimentarias más responsables.

Esta investigación se enfoca en evaluar la calidad fisicoquímica, textural y sensorial de la carne para hamburguesa mediante la incorporación de harina obtenida de la cáscara y de la semilla de la yaca. Se espera que los resultados obtenidos contribuyan

al desarrollo de nuevos productos cárnicos funcionales y sostenibles, ofreciendo alternativas innovadoras para la industria alimentaria.

2. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la incorporación harinas de residuos vegetales (cáscara y semilla) de la yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*) en carne para hamburguesa, en sus propiedades fisicoquímicas, texturales, nutricionales y sensoriales, promoviendo un enfoque sostenible en la producción de alimentos.

2.1. Objetivos Específicos

- Determinar la composición nutricional de la cáscara y semilla de yaca con el propósito de evaluar su uso en carne para hamburguesa
- Evaluar características fisicoquímicas, sensoriales y texturales de la carne para hamburguesa enriquecida con harinas de yaca.
- Determinar el efecto de la adición de harinas de yaca en la composición nutricional de la carne para hamburguesa.

3. HIPÓTESIS

La incorporación de harinas obtenidas a partir de la cáscara y semillas de yaca en carne para hamburguesa mejora o mantiene sus propiedades fisicoquímicas, texturales, nutricionales y sensoriales, a la vez que contribuye a un enfoque sostenible en la producción de alimentos mediante el aprovechamiento de subproductos agroindustriales.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Investigaciones previas

La búsqueda de alternativas sostenibles a la carne tradicional ha ganado importancia en los últimos tiempos, en este sentido, se han realizado diversas investigaciones para evaluar la calidad de los alimentos, mediante la adición de diferentes fuentes de fibra.

En el caso particular de los productos cárnicos ya sea del tipo emulsionados, frescos o empanizados, como las salchichas, las hamburguesas o los nuggets, en muchos de los casos se han obtenido resultados favorables.

Por mencionar solo algunos ejemplos, está el incremento en la capacidad de retención de agua (CRA), la disminución en las pérdidas por cocción y la capacidad antioxidante a nivel tecnológico, la reducción del contenido de grasa e incremento en el contenido de fibra dietética a nivel nutricional y puntuaciones de aceptabilidad global comparables con un control en el nivel sensorial (Rivera de Alba y Flores Girón, 2022).

Los autores citados anteriormente, señalan que al adicionar fibra dietética como ingrediente funcional en diversos productos cárnicos se consiguen cambios en tres niveles distintos: físico químico, nutricional y sensorial, de modo que se ven mejoras en distintos parámetros de calidad, como el perfil nutricional, la capacidad de retención de agua (CRA) y el rendimiento, en el color, la textura, las propiedades antioxidantes y los atributos sensoriales.

Debido a lo anterior, la fibra dietética o la harina al ser incorporada a productos cárnicos presenta propiedades funcionales y nutricionales benéficas que permiten su

reformulación, ya sea enfocada a incrementar el consumo de este componente en la dieta o en una reducción en la ingesta de la grasa.

De acuerdo con Chávez–Zepeda *et al.*, (2009), en un estudio realizado mediante la utilización de residuos de frutas como fuente de harina en productos cárnicos, los autores mencionaron que podría ser de gran utilidad ya que el valor económico de los residuos agroindustriales es bajo, poseen muy poca cantidad de lípidos y pueden ser una buena fuente de fibra y de minerales, además de que debido a la cantidad de polifenoles presentes podrían ser utilizados como antioxidantes prebióticos.

La incorporación de estas harinas en productos cárnicos podría además ser de gran interés para mejorar la textura, aumentar el rendimiento y darle un valor agregado al producto final.

Ospina Meneses *et al.*, (2011), evaluaron el efecto del reemplazo de la mitad de la grasa por fibra de banano verde íntegro reconstituido, sobre las características microbiológicas y bromatológicas de hamburguesas de carne de res, comparadas con hamburguesas con 20% de grasa como hamburguesa control, durante 60 días de almacenamiento en congelación.

Sus resultados mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) en el tiempo y en la adición de la fibra para las características de proteína, grasa, humedad, cenizas, luminosidad (L^*) y sobre el contenido de fibra dietética soluble (FDS), fibra dietética insoluble (FDI) y fibra dietética total (FDT).

Las hamburguesas con fibra mostraron niveles menores de proteína y de grasa. Los valores obtenidos de ceniza en las hamburguesas con fibra fueron mayores que en las hamburguesas control debido al aporte hecho por la fibra de banano verde íntegro, mientras que el contenido de humedad fue mayor en las hamburguesas control. El contenido de FDT, FDS y FDI permanecieron estables durante los 60 días de almacenamiento para las hamburguesas con inclusión de fibra.

Por otro lado, en cuanto a los resultados microbiológicos, estos no mostraron diferencias significativas ($P > 0,05$) ni en el tiempo ni en los niveles de inclusión de fibra. Tanto las hamburguesas control como en las que incluyeron fibra, estas permanecieron estables en términos de la calidad microbiológica durante 60 días de

almacenamiento en congelación.

Por otra parte, el nivel de oxidación no representó diferencia significativa ($P>0,05$) entre los diferentes tratamientos, sin presentar oxidación en el tiempo. Los autores concluyeron que la fibra de banano verde íntegro puede ser utilizada satisfactoriamente como un sustituto de la grasa en hamburguesas de res “reducidas o bajas en grasa”.

En otro estudio, Chamorro-Ramírez *et al.*, (2013), evaluaron el efecto de la adición del 3% de fibra de nopal (FN) o cacao (CA), sobre las características fisicoquímicas, texturales, contenido nutricional y aceptación sensorial de carne tipo hamburguesa.

Estos autores, elaboraron 144 hamburguesas que fueron divididas en tres tratamientos: El tratamiento control (TC) sin adición de fibra; un tratamiento de carne con fibra de nopal (FN 3%) y otro con cacao en polvo (CA 3%). Realizaron pruebas fisicoquímicas (pH, aw), texturales (TPA) y de color instrumental (CIE-Lab) a distintos intervalos de tiempo (0, 2, 7, 14 y 28 días), además del contenido nutritivo y una prueba de preferencia.

Observaron que el pH incrementó similarmente en todos los tratamientos al día 28 sin mostrar diferencias entre tratamientos ($P>0.05$), la adición de cacao disminuyó la luminosidad ($P<0.05$) y mantuvo valores elevados de a^* ($P<0.05$) mientras que el valor de b^* fue más bajo con la adición de cacao.

La textura fue similar en todos los tratamientos ($P>0.05$) disminuyendo con el tiempo, mientras que la aw se mantuvo estable ($P>0.05$). La inclusión de fibra de nopal mostró un gusto moderado. La adición de fibra de nopal y cacao aumentó el contenido de fibra ($P<0.05$). La adición de FN y CA no disminuyó la aceptación del consumidor, por lo cual consideran que estos podrían ser utilizados como ingredientes en el desarrollo de alimentos funcionales.

4.2. Historia, descripción y origen de las hamburguesas

La carne para hamburguesa es un producto cárnico procesado que se obtiene a partir de carne molida de res, generalmente mezclada con grasa y otros ingredientes opcionales, como condimentos y aditivos, para mejorar su textura, sabor y

conservación. La carne debe cumplir con ciertas especificaciones en cuanto a contenido de grasa y proporciones de carne magra, dependiendo de la normativa local o los estándares de calidad. Este tipo de productos son ampliamente utilizados en la industria de los alimentos debido a su versatilidad y popularidad en preparaciones rápidas como las hamburguesas o productos de carne picada.

Según Youssef y Barbut (2010), la calidad de la carne para hamburguesa se evalúa principalmente a través de parámetros fisicoquímicos, como la actividad de agua (a_w), el pH y el contenido de grasa, así como su textura y olor.

Rivera de Alba y Flores-Girón (2022) señalan que la adición de ingredientes funcionales, como las fibras vegetales, puede mejorar las propiedades nutricionales y tecnológicas de la carne para hamburguesa, lo que permite el desarrollo de productos más saludables.

El término “hamburguesa” procede de un embutido alemán de gran calibre elaborado con carne de vacuno. Este fue importado a Estados Unidos por inmigrantes alemanes haciéndose muy populares llegando a convertirse en un símbolo de la cultura norteamericana (López *et al.*, 2020).

4.3. Descripción general

Las hamburguesas poseen un elevado contenido de carne en comparación con otros productos cárnicos, sobre todo cuando se utiliza carne de vacuno. Los ingredientes no cárnicos más utilizados son el huevo, el pan rallado y la cebolla. La adición de proteínas vegetales reduce el contenido de grasa, el colesterol y mejora el rendimiento tras la cocción (López *et al.*, 2020).

4.4. Propiedades fisicoquímicas de las hamburguesas

Las propiedades fisicoquímicas de las hamburguesas son fundamentales para determinar su calidad, estabilidad y aceptación por parte de los consumidores. Entre las propiedades más relevantes se encuentran la composición proximal, el pH, la actividad de agua, la textura y la jugosidad. Estas características no solo influyen en

la percepción sensorial del producto, sino también en su vida útil.

4.4.1. Composición proximal

La composición proximal de las hamburguesas incluye el contenido de proteínas, grasas, carbohidratos, humedad y cenizas. La proporción de estos componentes varía según los ingredientes utilizados y el proceso de elaboración. Las hamburguesas tradicionales, elaboradas a partir de carne de res, cerdo o una mezcla de ambas, son ricas en proteínas y grasas. En cambio, las hamburguesas que incorporan algunas harinas pueden presentar un perfil nutricional diferente.

4.4.2. pH y actividad de agua

El pH y la actividad de agua son parámetros que afectan la calidad y estabilidad de las hamburguesas. El pH de la carne fresca suele estar en el rango de 5.5 a 6.0, lo cual es importante para la textura y la capacidad de retención de agua del producto (Mancini y Hunt, 2005).

Un pH más bajo puede mejorar la vida útil al inhibir el crecimiento microbiano, pero también puede afectar la textura y la jugosidad. La actividad de agua, que indica la disponibilidad de agua libre para el crecimiento microbiano, es otro factor importante por considerar. Las hamburguesas deben mantener una actividad de agua por debajo de 0.90 para asegurar la estabilidad microbiológica sin comprometer la calidad sensorial (Rathod y Pathare, 2014).

4.4.3. Textura y jugosidad

La textura de las hamburguesas es una propiedad sensorial crítica que depende de la matriz proteica y de la interacción entre los ingredientes. Las proteínas de la carne contribuyen a la formación de una red tridimensional que atrapa agua y grasa, dando como resultado una textura firme pero jugosa (Gök *et al.*, 2011).

4.4.4. Capacidad de retención de agua y pérdida de peso durante la cocción

La capacidad de retención de agua (CRA) es un término frecuentemente utilizado para

describir la habilidad del músculo para retener agua aun cuando se aplican presiones externas a él. Es un parámetro muy utilizado en productos cárnicos porque está directamente relacionado con la jugosidad (Fuentes-López *et al.*, 2013).

4.4.5. Impacto en la calidad sensorial

La calidad sensorial, que incluye atributos como sabor, textura y apariencia, es fundamental para la aceptación de las hamburguesas por parte de los consumidores. La incorporación de harinas puede afectar la textura del producto. En términos de sabor, las harinas de yaca pueden aportar un perfil umami que mejora el gusto general del producto.

4.4.6. Aceptación por parte de los consumidores

La aceptación de los productos de carne picada como las hamburguesas adicionadas con harinas de yaca por parte de los consumidores depende de la percepción del producto en términos de sabor, textura y valores nutricionales. Estudios han demostrado que los consumidores están cada vez más dispuestos a aceptar productos que ofrecen beneficios adicionales, como una mayor sostenibilidad o un mejor perfil nutricional, siempre que no se comprometa el sabor y la textura (Santiago, 2024). La comunicación clara de los beneficios de este tipo de productos es esencial para fomentar su aceptación en el mercado.

4.4.7. Sostenibilidad y reducción del impacto ambiental

La adición de harinas de la yaca en productos cárnicos también tiene implicaciones positivas desde una perspectiva de sostenibilidad. Esto contribuye a la reducción del impacto ambiental asociado con la producción de alimentos, alineándose con las metas globales de sostenibilidad y reducción del cambio climático (FAO, 2024). Además, la incorporación de ingredientes vegetales en productos cárnicos puede ayudar a transformar la dieta y reducir la dependencia de productos de origen animal.

4.5. Evaluación sensorial de productos cárnicos

La evaluación sensorial es un proceso crítico en el análisis de productos cárnicos, ya

que permite medir y comprender las percepciones de los consumidores sobre características clave como el sabor, la textura, el aroma y la apariencia. Estos atributos sensoriales son determinantes en la aceptación y éxito comercial de un producto cárnico como las hamburguesas, especialmente cuando se han realizado modificaciones en su formulación, como la adición de harinas de yaca en su formulación.

4.5.1. Importancia de la evaluación sensorial

La evaluación sensorial es fundamental para garantizar que los productos cárnicos cumplan con las expectativas de los consumidores. A través de esta metodología, es posible identificar y cuantificar los atributos que son más valorados por los consumidores, así como aquellos que podrían ser mejorados (Ramírez-Navas, 2012). Además, la evaluación sensorial permite anticipar la aceptación del mercado, lo cual es decisivo cuando se introducen ingredientes alternativos o se modifican procesos de producción en los productos cárnicos.

4.5.2. Métodos de evaluación sensorial

Existen diversos métodos para realizar la evaluación sensorial de productos cárnicos, que van desde pruebas descriptivas hasta pruebas afectivas. Las pruebas descriptivas, como el Análisis Descriptivo Cuantitativo (ADQ), permiten un análisis detallado de los atributos sensoriales mediante la formación de paneles entrenados que evalúan las características del producto de manera objetiva (Stone y Sidel, 2004). Por otro lado, las pruebas afectivas, como las pruebas de preferencia o aceptación, involucran a consumidores no entrenados que evalúan los productos en función de su agrado o preferencia, proporcionando una visión directa de la aceptación del producto en el mercado (Meilgaard *et al.*, 2007).

4.5.3. Aspectos tecnológicos y procesamiento

El desarrollo de productos cárnicos como las hamburguesas implica una serie de procesos tecnológicos que afectan tanto a la calidad del producto final como a su

aceptación por parte de los consumidores. La adición de harinas de yaca introduce nuevos desafíos y oportunidades en el procesamiento, ya que requiere ajustes en las técnicas de formulación, manejo de ingredientes y métodos de conservación para garantizar un producto de alta calidad.

4.5.4. Formulación, mezclado, procesamiento térmico y su impacto en la calidad del producto final

La formulación de hamburguesas con adición de harinas de yaca inicia con la selección de materias primas y los ingredientes. El proceso de cocimiento es una etapa crítica en la producción de hamburguesas, ya que afecta tanto la seguridad como la calidad sensorial del producto. Esto puede requerir ajustes en los tiempos y temperaturas de cocción para asegurar la correcta coagulación de las proteínas y la inactivación de patógenos, sin que se vea afectada la jugosidad y la textura del producto. Además, el procesamiento térmico debe ser controlado cuidadosamente para evitar la sobrecocción, que podría resultar en una textura dura y seca.

La integración de las harinas de yaca en las hamburguesas podría no solo afectar el proceso tecnológico, sino que también podría tener un impacto directo en la calidad del producto final, incluyendo algunos aspectos importantes como la textura, el sabor y la apariencia del producto.

4.5.5. Aspectos económicos y de mercado

Por otro lado, la aceptación del mercado es otro aspecto fundamental para el éxito de las hamburguesas con adición de harinas. En los últimos años, ha habido un aumento en la demanda de alimentos que son tanto saludables como sostenibles, lo cual incluye productos con ingredientes de origen vegetal (García, 2024). Este cambio en las preferencias de los consumidores presenta una oportunidad significativa para introducir productos cárnicos con sustitución parcial de carne, especialmente aquellos

que pueden ofrecer beneficios adicionales como un perfil nutricional mejorado o un menor impacto ambiental (Hoek *et al.*, 2011).

4.5.6. Normas de seguridad alimentaria

Es necesario que estos productos se adhieran a los estándares de vida útil y almacenamiento, ya que la inclusión de ingredientes con diferentes perfiles de humedad y actividad de agua, como harinas de yaca, puede afectar la estabilidad del producto. Las normativas requieren que los productores realicen pruebas de vida útil y que se implementen sistemas de trazabilidad para monitorear la calidad y seguridad de sus productos a lo largo de la cadena de suministro.

4.5.7. Aprobaciones y certificaciones

Para lanzar al mercado un nuevo producto, puede ser necesario obtener aprobaciones específicas y cumplir con procesos de certificación. Dependiendo del país, esto podría implicar la obtención de autorizaciones sanitarias, así como la certificación de los procesos de producción bajo normas como la ISO 22000 o la certificación HACCP, que garantizan un enfoque sistemático para el control de riesgos en la seguridad alimentaria (ISO, 2018).

Además, si se hacen declaraciones sobre sostenibilidad o beneficios ambientales en el producto, puede ser necesario cumplir con estándares adicionales de certificación, como los relacionados con la producción orgánica o la reducción de la huella de carbono. Estas certificaciones no sólo garantizan el cumplimiento normativo, sino que también pueden servir como herramientas de marketing para atraer a consumidores conscientes del medio ambiente y de la salud (Mendoza, 2023; Santiago, 2024).

4.5.7.1. Regulación de innovaciones alimentarias

La introducción de ingredientes no tradicionales o nuevos métodos de procesamiento en productos cárnicos puede estar sujeta a regulaciones adicionales. En la Unión Europea, por ejemplo, los alimentos que contienen nuevos ingredientes o que utilizan procesos innovadores pueden requerir la aprobación bajo la normativa de "nuevos alimentos" (Reglamento (UE) 2015/2283). Este reglamento exige que los nuevos

alimentos sean evaluados por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) para garantizar que sean seguros para el consumo humano antes de ser comercializados.

4.5.7.2. Consideraciones internacionales

Para las empresas que desean comercializar hamburguesas con adición de harina o fibra de yaca en mercados internacionales, es esencial tener en cuenta las variaciones en las normativas de diferentes países. Las regulaciones alimentarias pueden diferir significativamente entre regiones, especialmente en lo que respecta a la seguridad alimentaria, el etiquetado y las declaraciones de propiedades saludables o nutricionales (ISO, 2018).

Por ejemplo, mientras que algunos países pueden permitir ciertas declaraciones de salud basadas en la inclusión de champiñones en la dieta, otros pueden requerir pruebas adicionales o prohibir tales declaraciones. Asimismo, las restricciones sobre aditivos y conservantes pueden variar, lo que podría requerir ajustes en la formulación del producto para cumplir con los estándares locales. La comprensión de estas diferencias y la adaptación a los marcos regulatorios de cada mercado es clave para el éxito internacional de estos productos.

4.6. El fruto de la yaca

La yaca (*Artocarpus Heterophyllus Lam.*) es una fruta tropical originaria del sureste de la India, aunque se encuentra distribuida también en Australia, Isla Mauricio, Kenia, Uganda, Brasil, Jamaica, Las Bahamas, Estados Unidos (Florida y Hawái) y México (Crane y Balerdi, 2006). Esta especie pertenece a la familia *Moraceae*, cuyos frutos varían en peso, de 1.6 a 25 kg, aunque se han reportado frutos que alcanzan hasta los 50 kilogramos. Los árboles sin manejo de poda pueden crecer en cinco años de 8 a 25 m de altura y de 3.5 a 6.7 metros de diámetro de copa.

La proporción del fruto en madurez fisiológica es de aproximadamente 59% de pulpa, 37% de cáscara y 4% de semillas, aunque el número de semillas varía significativamente de frutos de una planta a otra, siendo el peso de éstas alrededor de los 7g. Los valores de acidez y vitamina C difieren significativamente entre la madurez

fisiológica, la madurez sensorial y la sección del fruto analizada, resaltando el alto valor nutritivo de sus semillas.

Los frutos tienen diversos compuestos, como carotenoides, flavonoides, taninos, esteroides, entre otros, que le confieren propiedades anticancerígenas, además de aliviar úlceras e indigestión. Las hojuelas de frutos maduros tienen 0.8% de minerales, 30 IU de vitamina A y 0.25 mg/100 g de tiamina y valor energético alto pues se ha calculado que la pulpa provee energía de hasta 2 MJ kg⁻¹ en peso húmedo (Luna-Esquivel *et al.*, 2018).

4.6.1. Producción nacional

Los principales estados productores de yaca a nivel nacional son Nayarit (94.14%), Veracruz (3.77%) y Jalisco (1.96%). En 2023 la producción de yaca en México fue de 31,205 toneladas, las cuales fueron obtenidas de 1684 hectáreas cosechadas por lo que el rendimiento nacional quedó en 18.53 toneladas por hectárea. La superficie establecida de yaca en México ha crecido significativamente de 16.5 ha en 2002 a 797 ha en 2011, con un rendimiento aproximado de 15.5 toneladas por hectárea y valor de la producción de 4.5 millones de dólares. En este contexto, Nayarit es el principal productor al concentrar 80% de la superficie nacional (SIAP, 2024).

El árbol tiene flores prácticamente todo el año; sin embargo, la distribución de la lluvia tiene una influencia directa en los picos de floración, ya que éste coincide con el periodo más seco. En el estado de Nayarit la estacionalidad más fuerte se encuentra de mayo a septiembre y disminuye de octubre a enero.

4.6.2. Beneficios en la salud

- Completa de vitamina C, la yaca es a su vez antiviral y antibacteriana. Se aumenta el funcionamiento de nuestro sistema inmunológico y apoya la creación de glóbulos blancos o linfocitos.
- Ayuda a tratar las úlceras gástricas y trastornos digestivos. Ayuda con el estreñimiento gracias a su contenido de fibra y conduce químicos cancerígenos en el intestino grueso para ser eliminados.

- La yaca puede ayudar a mantener una mejor vista y prevenir la ceguera causada por la degeneración macular, además de beneficiar a la piel, gracias a su riqueza en vitamina A.
- Tiene un alto nivel de potasio lo que ayuda a disminuir la presión arterial y reduce el riesgo de ataque cardíaco y cerebrovascular.
- Contiene magnesio y calcio ayudando a prevenir casos de osteoporosis.
- Esta fruta contiene suficiente hierro para corregir la anemia por deficiencia de este.
- La yaca es rica en minerales como el cobre que mantiene la salud de la tiroides.
- Aumenta los niveles de energía gracias a sus altos niveles de B2- riboflavina y B1- tiamina que ayudan a las células a convertir la energía de los carbohidratos (Villalba-Peralta *et al.*, 2023).

4.6.3. Subproductos en la industria alimentaria

Los subproductos de la industria alimentaria pueden ser una buena fuente de compuestos bioactivos, por lo que en la actualidad se han buscado algunas alternativas que permitan su aprovechamiento. Estas estrategias son esenciales para mejorar la eficiencia de los sistemas de alimentación, a través de las políticas públicas gubernamentales que permitan legislar y establecer estrategias entre el sector público y privado. Algunas alternativas que se han puesto en marcha han sido el establecimiento de bancos de alimentos, que rescatan alrededor de 50 mil toneladas de comida y que ha sido descartada por diferentes razones, pero que la calidad es, en general, apta para el consumo humano.

También se han establecido campañas de concientización a diferentes niveles para eliminar el desperdicio, eje central de la economía circular. Por otro lado, se sabe que los residuos de la industria son fuente importante de compuestos bioactivos, los cuales se pueden aprovechar a través del desarrollo de nuevos alimentos saludables, como los alimentos funcionales, que permiten incorporarlos en formulaciones nuevas y con potencial efecto benéfico en la salud (Preciado-Saldaña *et al.*, 2022).

En este sentido, la yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*), es una fruta tropical abundante en varias regiones del país, ofrece una importante fuente de ingredientes funcionales. Tanto la cáscara como la semilla de la yaca son considerados residuos tras la obtención de la pulpa, contiene fibras y nutrientes que pueden ser aprovechados en la industria.

El aprovechamiento de la cáscara y semilla de la yaca no solo contribuye a la reducción de residuos alimentarios, sino que también promueve la sostenibilidad al transformar subproductos agrícolas en ingredientes de alto valor agregado. Además, las harinas de yaca pueden mejorar el perfil nutricional de las hamburguesas al aportar compuestos bioactivos y aumentar el contenido de fibra dietética, lo cual es beneficioso para la salud digestiva y general de los consumidores.

4.7. Composición y características fisicoquímicas de la carne

La composición química de la carne varía dependiendo del tipo de musculo, corte, raza, edad, etapa de crecimiento, sexo, ejercicio físico, nutrición del animal y especie.

En un sentido amplio se puede considerar que la carne está compuesta aproximadamente por un 75 por ciento de agua, 19 por ciento de proteína, 3.5 por ciento de sustancias no proteicas solubles, 2.5 por ciento de grasa, vitaminas hidrosolubles del complejo B necesarias para el crecimiento humano y minerales como Fe, P, Zn y Ca.

La tiamina (B1), se emplea en el hígado para la síntesis de cocarboxilasa y tiamina de pirofosfato utilizando glúcidos como fuente de energía. La riboflavina (B2), es parte de las coenzimas que intervienen con los glúcidos, proteínas y grasas. La piridoxina (B6), está relacionada con la oxidación de aminos y la actividad fosforilativa del tejido muscular, y está asociada al metabolismo del triptófano, importante de degeneración nerviosa; y la cianocobalamina (B12), está relacionada con la folacina, ácido pantoténico, colina y metionina, donde el ácido pantoténico es indispensable en la síntesis de ácidos grasos, triglicéridos, fosfolípidos durante el ciclo de Krebs y en la beta-oxidación de los ácidos grasos. Aunque para comprender la carne, su conducta, así como su variabilidad, no es posible basarse en esta simplificación.

Por el contrario, tiene que admitirse que la carne es el resultado *post-mortem* de un tejido biológicamente complicado, y que refleja las características especiales que exige su función y contracción, tanto en sentido general como en el que se refiere al tipo de acción que cada músculo individual tiene que desempeñar en el cuerpo (Lawrie, 2022).

Tabla 1. Composición química de un músculo de mamífero adulto

Componente	Porcentaje
Agua	75.00
Proteínas	19.00
Miofibrilares	11.50
Sarcoplásmicas	5.50
Tejido conectivo	2.00
Lípidos	2.50
Sustancias no proteicas solubles misceláneas	2.30
Carbohidratos	0.90
Vitaminas (diversas vitaminas hidro y liposolubles, cuantitativamente diminutas)	0.30

Fuente: Lawrie (2022)

4.7.1. El color de la carne

El espacio de color L*, a*, b* también conocido como CIELAB es actualmente uno de los espacios de color más populares y uniformes usados para evaluar el color de la carne, este espacio de color es ampliamente usado porque correlaciona los valores numéricos de color consistentemente con la percepción visual humana (Mathias-Rettig y Ah-Ken, 2014).

El parámetro L* (Luminosidad): indica la luminosidad de una carne o producto cárnico con valores que van de 0 (negro) a 100 (blanco).

El parámetro a^* : indica la coordenada rojo-verde (+ a indica rojo, - a indica verde)

El parámetro b^* : indica la coordenada amarillo-azul (+ b indica amarillo, - b indica azul).

El color de la carne y de los productos cárnicos es uno de los factores más importante al momento de la decisión de compra por parte de los consumidores, y que en cierta medida tiene relación sobre la vida de anaquel de estos.

La velocidad del congelado puede afectar el color y la luminosidad de la carne. Esto se debe al tamaño de los cristales que se forman dentro de la fibra muscular; cuando el congelado es ultra rápido, se forman cristales muy pequeños los cuales dispersan la luz y por lo tanto la carne se observa más opaca y pálida. En cambio, la carne congelada de forma lenta forma cristales de mayor tamaño, y su carne tiene un color más traslúcido y oscuro (Canadian Beef, 2022).

El color de la carne al descongelarse es muy inestable debido a la alta tasa de oxidación de los pigmentos, lo que se agrava con tasas lentas de congelamiento. Además, durante el congelado, la superficie de la carne puede comenzar a producir metamioglobina, por lo que adquiere un color café en la superficie, el cual permanece luego del descongelado. La decoloración que se observa en carne congelada puede estar también asociada a la exposición continua a la luz. La carne que puede estar almacenada sin cambios luego de 3 meses puede perder su color natural en tan solo 3 días de exposición a la luz.

El color de los alimentos a base de músculo gira en torno a la mioglobina, el pigmento rojo principal de la carne. Sin embargo, el color percibido final se ve afectado por muchos factores, como la especie, la genética animal y los antecedentes nutricionales, los cambios *post mortem* en el músculo (especialmente la dinámica del pH y la disminución de la temperatura de la carne), los efectos inter e intramusculares, las temperaturas y el tiempo de almacenamiento *post mortem*, y toda una serie de variables de procesamiento (incluidas las intervenciones antimicrobianas), empaquetado y exhibición e iluminación.

La evaluación del color es esencial en la investigación de la carne, el desarrollo de productos y la resolución de problemas de procesamiento. Cuando se realiza correctamente, las evaluaciones visuales e instrumentales del color son herramientas

de investigación útiles para la ciencia de la carne. Sin embargo, estas evaluaciones deben realizarse utilizando procedimientos cuidadosamente diseñados para evitar datos sesgados. Aunque no todos necesitan conocimientos expertos sobre la química de la mioglobina, los evaluadores del color deben tener una comprensión general de los parámetros bioquímicos y físicos que regulan el color y la percepción del color (King *et al.*, 2023).

La CIE ha desarrollado los sistemas más importantes y utilizados en la actualidad para la descripción y medición del color, los cuales se basan en la utilización de fuentes de iluminación y observadores estándares. Los sistemas CIE usan tres coordenadas para ubicar un color en un espacio de color. Estos espacios de color incluyen (1) CIE XYZ, (2) CIE $L^*a^*b^*$ y (3) CIE $L^*C^*h^\circ$.

Los valores de color X Y Z, CIE tri estímulo se obtienen multiplicando los valores para el iluminante, la reflectancia o transmisión del objeto y las funciones del observador patrón (Mathias-Rettig y Ah-Ken, 2014).

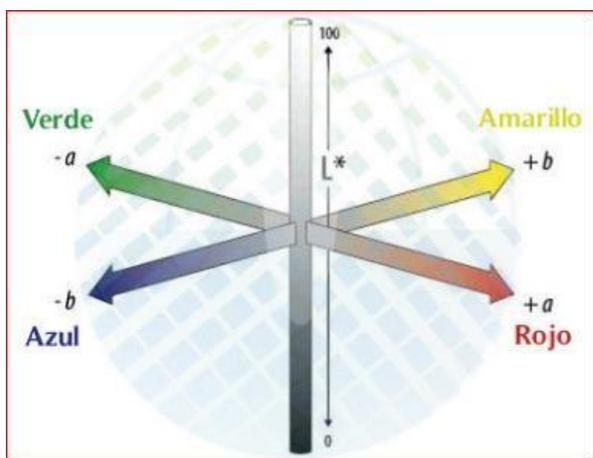


Figura 1. Coordenadas de color en el sistema Hunter Lab.

4.7.2. Proteínas de la carne

Las proteínas son un componente abundante de todas las células, y todas ellas, con la excepción de las proteínas de almacenamiento, son importantes para las funciones biológicas y la estructura de las células.

Están compuestas por elementos que incluyen el hidrógeno, carbono, nitrógeno, oxígeno y azufre. Veinte α aminoácidos son las piezas para la construcción de las proteínas; los residuos aminoácidos que forman una proteína se encuentran unidos por enlaces peptídicos.

El nitrógeno es el elemento más característico presente en las proteínas. No obstante, el contenido de nitrógeno en las diversas proteínas alimentarias abarca desde un 13,4% hasta un 19,1% debido a la variación en la composición específica de aminoácidos de las proteínas. Generalmente, las proteínas ricas en aminoácidos fundamentalmente contienen más nitrógeno.

Las proteínas simples (o sencillas) contienen sólo aminoácidos tras la hidrólisis, mientras que las proteínas complejas (conjugadas) contienen también componentes que no son aminoácidos. Las proteínas presentan conformaciones únicas las cuales pueden verse alteradas por agentes desnaturalizantes tales como el calor, los ácidos, los álcalis, la urea 8M, la guanidina – HCl 6M, los disolventes orgánicos y los detergentes (Latham, 2022).

4.7.3. pH de la carne

El pH se define a partir de la disociación del agua, donde el producto de las concentraciones de los iones H^+ y OH^- es constante $[H^+][OH^-]=10^{-14}$. Como el agua pura $[H^+]=[OH^-]$ se deduce que $[H^+]=10^{-7}$ y el pH del agua pura es $-\log [H^+]$, es decir, en medio ácido, la concentración de iones H^+ aumenta y el pH es inferior a 7 y en medio alcalino la concentración de iones OH^- aumenta, por lo que la de iones H^+ disminuye y por tanto el pH es superior a 7 (Jean y Régine, 1990).

El pH de la materia prima se modifica durante la transformación por el empleo de sustancias aditivas, por la actividad de microorganismos y también por el tratamiento térmico de la carne, lo que en general provoca una variación del pH hacia valores más elevados. Conocer el pH de la carne es importante por su influencia sobre diferentes características de calidad de la carne fresca: color, terneza, sabor, CRA, y conservabilidad. De esta manera el pH es importante tanto por el aspecto sensorial como por la aptitud para la transformación de la carne. En principio estas influencias

también se dan en los productos cárnicos (Zimmerman, S.f).

4.7.4. Actividad de agua en la carne

La actividad de agua (a_w) corresponde al cociente entre la presión de vapor del alimento y del agua pura, a la que arbitrariamente se le atribuye el valor de uno. En el punto de equilibrio entre un producto y la atmósfera que lo rodea, el valor de la actividad de agua (a_w) corresponde a 1/100 de humedad relativa (HR). Por regla general, las reacciones químicas tienen lugar a actividades de agua bajas de 0.2 a 0.4; las reacciones enzimáticas comienzan a niveles del orden de 0.4 ó 0.5; la proliferación de levaduras y mohos a 0.7 y la de las bacterias a partir de 0.9 (Jean y Régine, 1990).

Por tanto, la actividad de agua es uno de los factores más críticos para asegurar la calidad y seguridad de los alimentos ya que tiene incidencia sobre las características de calidad, tales como: textura, sabor, color, gusto, valor nutricional del producto y su tiempo de conservación.

Se ha demostrado que reduciendo la a_w disminuían las velocidades de multiplicación de mohos, levaduras y bacterias sobre las superficies de la carne. Se comprobó que la a_w óptima de diversas cepas de *Staphylococcus aureus* productoras de intoxicaciones alimentarias era de alrededor de 0.995. Debajo de este valor, la velocidad de multiplicación de los microorganismos disminuye rápidamente. Las carnes frescas tienen una a_w de 0.99 lo que las hace susceptibles a la alteración por ser favorables a un amplio rango de microorganismos (Barbosa-Cánovas, 2020).

4.7.5. Análisis de perfil de textura en la carne

El análisis de perfil de textura (TPA) es una técnica empírica que utiliza un ensayo de compresión de dos ciclos, normalmente con una máquina de ensayo universal. Este ensayo es registrado como la fuerza durante la compresión y el tiempo. El análisis de los datos se puede correlacionar con números parámetros sensoriales, incluidos la dureza, la cohesión y la elasticidad, con términos de textura determinados a partir de la curva del ensayo TPA (Talens-Oliag, 2017). Con los datos obtenidos se puede determinar la dureza, la elasticidad, la masticabilidad, la cohesividad y la resiliencia.

- Dureza: corresponde a la fuerza máxima ejercida por la sonda cilíndrica en su recorrido en profundidad de la muestra.
- Elasticidad: Se relaciona con la altura que el alimento recupera durante el tiempo entre el primer y el segundo ciclo. Se calcula como la ratio entre los tiempos de segundo y primer ciclo.
- Masticabilidad: (Gomosidad x Elasticidad) Es la energía requerida para masticar un alimento.
- Cohesividad: Definida como la ratio entre las áreas de segundo y primer ciclo. Medida de la acción mecánica bajo la cual la muestra se desintegra.
- Resiliencia: Capacidad que tiene el alimento de volver a su forma original.

4.7.6. Uso de la grasa en productos cárnicos

La grasa es un elemento importante ya que de este constituyente dependen determinadas propiedades organolépticas de la carne como son el sabor, la jugosidad y la textura. Además, el contenido y las características de la grasa preocupan al consumidor y a los profesionales de la alimentación sensibilizados con la salud debido a la asociación que existe entre este elemento y la incidencia de enfermedades cardiovasculares. Así, existe entre los consumidores la idea de que las carnes rojas (fundamentalmente presente en los rumiantes) son poco sanas debido a su alto contenido en ácidos grasos saturados y colesterol.

Recientemente se ha comprobado que la grasa de los rumiantes contiene específicamente nutrientes con efectos positivos para la salud humana como son los ácidos grasos conjugados del ácido linoleico. Estos ácidos grasos, representados mayormente por el ácido linoleico 9-cis, 11-trans, parece ser que favorecen la reducción de la incidencia de enfermedades cardiovasculares y regulan la actividad lipogénica entre otras. De otra parte, la carne no debe considerarse únicamente como un alimento con un alto nivel de grasa saturada ya que también aporta determinados ácidos grasos considerados esenciales (ácidos linoleico y linolénico) que no pueden ser sintetizados por el hombre (Horcada y Polvillo, 2010).

La grasa participa en la textura, en la jugosidad y en el sabor de la carne. Por ello,

tanto la cantidad de grasa como su naturaleza tienen importancia sobre la aceptabilidad de los consumidores. Los lípidos intramusculares proporcionan jugosidad a la carne, de forma que en algunos sistemas de evaluación de la calidad de la carne se considera la cantidad de grasa infiltrada como un factor determinante. Además, la grasa de la carne participa en el sabor y tiene un efecto positivo sobre la terneza (Forrest *et al.*, 1979). La mayoría de los trabajos que estudian la jugosidad de la carne muestran que existe una relación muy estrecha entre la jugosidad y el contenido de grasa, por lo tanto, todos los parámetros que condicionan el contenido de grasa intramuscular se verán reflejados en la jugosidad de la carne (Lawrie, 2022).

4.7.7. Consumo de carne y productos cárnicos

Según el Consejo Mexicano de la Carne A.C. (COMECARNE, 2024), durante el 2023 el consumo mundial de las tres principales especies de ingesta (res, pollo y cerdo) sumó 272.2 millones de toneladas, volumen 0.9% mayor al efectuado en el año previo.

Por tercer año consecutivo se registró un aumento, aunque este resultó de menor magnitud por el alza de precios en la comercialización de la carne de res y cerdo entre abril y agosto del año referido. El menor ritmo de crecimiento del consumo no limitó la dinámica del volumen producido el cual arribó a 276 millones 978 mil toneladas y que significó una cantidad 0.5% mayor a la del año previo. El comportamiento ascendente de la producción resultó una generación mayor en la carne de las tres especies, aunque la de cerdo consignó el ascenso anual más pronunciado que se contabilizó en 682 mil toneladas adicionales.

Al finalizar el 2023 el consumo de carne para corte alcanzó 10 millones 318 mil toneladas, volumen que resultó 4.9% mayor al del año previo.

La expansión de la demanda cárnica se sustenta en el empuje de la mayor disponibilidad de ingresos en los hogares mexicanos y su orientación para adquirir bienes de consumo alimentario, entre ellos la proteína de origen animal.

Entre 2022 y 2023 el salario mínimo incrementó 20%, por su parte las remesas internacionales aumentaron 8.7% y continuaron las transferencias monetarias gubernamentales hacia diversos grupos poblacionales que incentivaron su gasto

cotidiano. Los precios al consumidor de los productos cárnicos reportaron un aumento promedio anual de 4% durante 2023 que contrastó con el 13% observado en 2022, factor que también contribuyó para la mayor demanda de proteína cárnica.

Del total del consumo en el referido año 7 millones 502 mil toneladas corresponden al volumen generado internamente y 2 millones 817 mil toneladas a las importaciones. Las exportaciones por segundo año consecutivo declinaron por las menores compras de Estados Unidos y Japón, naciones que se erigen como los dos principales destinos de la proteína exportada por México.

En diez de los quince mayores países de consumo de carne de res se presentó en 2023 un repunte de la demanda, que determinó un ascenso anual en el agregado mundial de 0.7%, en este cambio moderado influyó la caída del consumo de 1.2% en Estados Unidos y 4.5% en la Unión Europea, quienes ocupan el primer y cuarto lugar mundial en magnitud del volumen consumido de la proteína cárnica. El país norteamericano consumió 12 millones 645 mil toneladas y la Unión Europea 6 millones 180 mil toneladas. Durante 2023 el consumo nacional de carne de res repuntó hasta 2 millones 118 mil toneladas, ese ascenso resultó del impulso de una mayor producción interna acompañado de un incremento del volumen importado y la declinación del exportado. El consumo per cápita de carne de res alcanzó 16.4 kilos, el cual resultó mayor en 757 gramos al registrado en el año previo.

El nivel mundial del consumo de proteína cárnica de cerdo cuantificó durante 2023 un nuevo máximo histórico: 114 millones 485 mil toneladas. El volumen señalado resultó superior en un millón 249 mil toneladas al conseguido en 2022. China encabeza la ingesta cárnica de porcino la cual creció 2.3%, también resultaron sobresalientes los incrementos de Vietnam, Canadá y México con 191 mil, 113 mil y 106 mil toneladas adicionales. La Unión Europea, Reino Unido, Estados Unidos y Filipinas consolidaron un retroceso en el consumo, con disminuciones que cuantifican 368 mil, 83 mil, 81 mil y 72 mil toneladas, de acuerdo con el orden indicado.

Aun cuando la producción interna de carne de cerdo en 2023 aumentó 2.2% respecto a la del año previo, las importaciones sustentaron el alza adicional en la demanda la cual cuantificó 3 millones 47 mil toneladas, este volumen resultó 4.5% mayor. En el

plano mundial México ocupa el octavo lugar en ingesta de proteína de cerdo y tercero en volumen importado, en el mediano plazo se vislumbra que la nación escale una posición en la lista de mayores consumidores, ese avance es deseable resulte del incremento de la cobertura con producción interna.

4.7.7.1. Carne y productos cárnicos relacionados con la obesidad

Debido a las características de la formulación de los embutidos cárnicos, éstos son regularmente productos con alto contenido de grasa, la ingesta frecuente y abundante de estos embutidos está considerada como un factor de riesgo de un gran número de enfermedades cardiovasculares (Ozvural y Vural, 2008). Aunque este tipo de productos son considerados de alto valor nutricional, también pueden concentrar grandes cantidades de grasa saturada (alrededor del 70%), porque este tipo de grasa le confiere al producto características importantes tanto a nivel tecnológico como sensorial.

A este respecto, la industria cárnica ha desarrollado nuevas formulaciones o modificado los productos tradicionales reduciendo el contenido de esta. Sin embargo, la reducción en el contenido de grasa de un producto cárnico no resulta fácil, ya que la grasa condiciona atributos de calidad tales como color, gusto, aroma y textura (Jiménez-Colmenero *et al.*, 2017), así como otros factores asociados al proceso de los productos. Al reducir el contenido de grasa el producto pierde cuerpo y estructura, se reseca debido a la alta cantidad de agua que se pierde durante el proceso de secado y se endurece por una deshidratación del tejido magro, ocasionado a la vez un oscurecimiento superficial.

4.8. Beneficios del aporte de fibra en la alimentación

Se conoce que al incrementar la cantidad de fibra en los alimentos se reduce el riesgo de contraer cáncer de colon, padecer obesidad, enfermedades cardiovasculares y otros trastornos (Sánchez-Zapata *et al.*, 2011). La celulosa es un polisacárido de origen natural componente estructural de las paredes celulares de los vegetales cuya estructura está formada por una cadena lineal de β -D-Glucopiranosas, la celulosa empleada en la alimentación se extrae de fibra de algodón, madera, paja etc. Gracias

a la estructura química de las fibras, éstas no se digieren en el intestino delgado, sino que se metabolizan en el organismo como fibra dietética saludable. En el colon, la microflora beneficiosa -principalmente bifidobacterias- las fermenta de forma rápida y completa. Ello estimula el crecimiento de *Lactobacillus bifidus* e inhibe el de bacterias no deseadas, además de la producción de ácidos grasos de cadena corta favoreciendo la absorción y retención de calcio (Mendoza *et al.*, 2001).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio experimental se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio-taller de cárnicos del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad Universitaria Tulancingo. Y en la empresa Forrajes y Carnes de Santiago SPR de RL (Carnex). El fruto de la yaca fue obtenido en el municipio de Xicotepec de Juárez, Puebla, México. Se consiguieron 5 yacas las cuales tenían una madurez comercial, adecuada para poder cortarla con facilidad y separar sus partes en cáscara, semilla y pulpa.

5.1. Obtención y preparación de las harinas de yaca

La yaca se pesó en báscula Torrey mod. PCR-20 (Monterrey, Nuevo León, México). Posteriormente fue separada por componentes para calcular el rendimiento de estos (pulpa, semilla y cáscara). Se obtuvo la cáscara y semilla de 5 frutos, los cuales fueron congelados por un periodo de un mes. Se registró un peso de 2.300 kg en el caso de la cáscara y 1.160 kg en el caso de la semilla.

Obtenidas las muestras de La cáscara y la semilla fueron deshidratadas en un horno marca DBS Alimentos (Monterrey, Nuevo León, México) con capacidad para 10 charolas, las muestras se mantuvieron durante 24h, a una temperatura controlada de 70°C. Deshidratadas las muestras (cáscara y semilla), fueron pulverizadas en molino triturador marca Swissmex (Ciudad de México, México) con una malla de 1 mm, posteriormente la harina obtenida se pasó por un tamiz número 32 de 0.5 milímetros (Bunsekifurui, Estados Unidos).



Figura 2. Tamiz y harina obtenida para el proceso de incorporación en la carne

5.1.1. Rendimiento de los componentes de la yaca

Para calcular el rendimiento de cada uno de los componentes de la yaca se pesaron cada uno de ellos con base en el peso fresco, dividiéndolos entre el peso total del fruto.

$$\% \text{ Rendimiento en fresco} = \frac{\text{Peso del componente}}{\text{Peso total del fruto}} \times 100$$

Mientras que para el peso en seco se pesó después del proceso de secado y se dividió entre el rendimiento de cada uno de los componentes.

$$\% \text{ Rendimiento en seco} = \frac{\text{Peso del componente seco}}{\text{Peso del componente fresco}} \times 100$$

5.2. Fabricación de la carne para hamburguesa con fibra de yaca

La formulación para la fabricación de la carne para hamburguesa se muestra en la Tabla 2, todos los componentes cárnicos (carne de res, carne y grasa de cerdo) y los ingredientes secos (harinas, pan, sal, aislado de soya, fécula, fosfato de sodio, ajo, cebolla, eritorbato de sodio y pimienta blanca) fueron mezclados.

5.2.1. Preparación de la masa cárnica

Los componentes cárnicos fueron picados y pasados por un molino marca Torrey modelo 22 (Monterrey Nuevo León, México), con cedazo de 1/8 in.

5.2.2. Mezclado

Una vez obtenida la carne molida, esta fue mezclada con la grasa, se añadieron los aditivos y condimentos junto con el agua el colorante (rojo carmín). Primero se agregaron el ajo en polvo, pimienta blanca, eritorbato de sodio y cebolla en polvo, se mezcló por un minuto. Posteriormente, se añadió el pan rallado, el aislado de soya, fécula y celulosa, harina de semilla o harina de cáscara según fuera el caso y se mezcló por otro minuto. Por último, se añadieron la sal y los fosfatos mezclando por

última vez por un minuto. Cada uno de los lotes fueron refrigerados en cámara durante 1 hora para posteriormente realizar el formado de la hamburguesa.

Tabla 2. Formulación empleada para la fabricación de las hamburguesas

Materias primas	Control		Cáscara		Semilla	
	Peso	%	Peso	%	Peso	%
Carne de res	0.500	38.18	0.500	38.18	0.500	38.18
Carne de cerdo	0.285	21.76	0.285	21.76	0.285	21.76
Grasa	0.200	15.27	0.200	15.27	0.200	15.27
Celulosa	0.015	1.15	0.000	0.00	0.000	0.00
Harina de yaca	---	---	0.015	1.15	0.015	1.15
Agua	0.200	15.27	0.200	15.27	0.200	15.27
Pan molido	0.040	3.05	0.040	3.05	0.040	3.05
Sal	0.027	2.06	0.027	2.06	0.027	2.06
Aislado de soya	0.016	1.22	0.016	1.22	0.016	1.22
Fécula	0.010	0.76	0.010	0.76	0.010	0.76
Fosfato	0.005	0.38	0.005	0.38	0.005	0.38
Ajo en polvo	0.003	0.23	0.003	0.23	0.003	0.23
Cebolla en polvo	0.003	0.23	0.003	0.23	0.003	0.23
Eritorbato de sodio	0.003	0.23	0.003	0.23	0.003	0.23
Pimienta	0.002	0.15	0.002	0.15	0.002	0.15
Rojo carmín	0.0006	0.05%	0.0006	0.05	0.0006	0.05
Total	1.310	100.00	1.310	100.00	1.310	100.00

5.2.2.1. Formación de la hamburguesa

Después de refrigerar la carne por 1h se procedió a pesar porciones de 150g, para posteriormente formar la hamburguesa utilizando para ello un equipo marca Migsa, modelo HF-130 (Guadalajara, Jalisco, México) cada una de las muestras fueron separadas en bolsas de polipapel y colocadas en bandejas de plástico, marcadas según fuera el tratamiento (control, semilla o cáscara).

5.2.2.2. Almacén de las muestras

Una vez formadas todas las muestras, estas fueron congeladas a -8°C , durante 15 días simulando el tiempo promedio de permanencia de estos productos en centros comerciales o tiendas de autoservicio.

5.3. Análisis experimental

5.3.1. Características fisicoquímicas

5.3.1.1. pH

Para la determinación del pH en la carne para hamburguesa, se utilizó un equipo medidor de pH marca Hanna™ modelo HI99163 (Romania), el cual previamente fue calibrado con soluciones tampón a pH 7.02 y 4.00. Para posteriormente, realizar la medición por triplicado de cada lote de hamburguesa cruda, mediante la utilización de un electrodo de inserción directa cubierto con una hoja cortante de acero inoxidable y adaptado al equipo de obtención de lectura.

5.3.1.2. Actividad de agua (aw)

Para medir la actividad de agua se utilizó un equipo marca Aqualab (Modelo Series 3, Pullman, Washington, USA). Por triplicado se utilizaron cápsulas de plástico, las cuales fueron rellenas hasta la mitad de la cápsula y compactó para eliminar huecos de aire al interior. La medición se efectuó a temperatura ambiente ($\pm 22^{\circ}\text{C}$).

5.3.1.3. Color

En la determinación del color instrumental se utilizó un colorímetro marca 3NH (Modelo NR110, Zengcheng, Guangzhou, China), esta determinación se realizó sobre tres muestras por cada tratamiento en distintos puntos. Esta determinación se realizó considerando un espacio tridimensional en los ejes L^* , a^* y b^* ; el equipo fue configurado con una apertura de 4 mm y un iluminante D65. Los resultados obtenidos fueron el promedio de las 5 lecturas por cada una de las muestras analizadas.

5.3.1.4. Método de cocción y cálculo de las pérdidas de peso durante el proceso

Las hamburguesas se llevaron a cocción en un sartén de teflón, dejando a fuego medio en estufa marca Drago modelo UNIVFG/S-PD (Inmesa, Tlaquepaque, Jalisco, México) durante 4 minutos por lado. La temperatura interna final fue de 71°C (Waterproof Meat, Mod DT-68, Chensen, China).

Para calcular la pérdida de peso a la cocción, las hamburguesas fueron pesadas en frío en báscula analítica (Ohaus, Modelo E12140, Suiza) para posteriormente llevarlas a cocción y una vez estando cocidas se volvió a pesar la muestra para determinar la merma por cocción por diferencia de pesos entre el producto frío y cocido.

5.3.1.5. Análisis de perfil de textura (TPA)

La determinación del análisis de perfil de textura (TPA) se realizó mediante un método mecánico de compresión utilizando un texturómetro Stable MicroSystems TA-X-T Plus (Surrey, United Kingdom). La preparación de las muestras para el análisis consistió en cortar cubos de 1 cm por lado, estos se obtuvieron de la parte central de la hamburguesa. Se utilizó una prueba de ensayo con velocidad de 1mm/s. Los resultados de este análisis fueron la media de quince repeticiones realizadas por tratamiento. Con los datos obtenidos se determinó la dureza, la elasticidad, la masticabilidad, la cohesividad y la resiliencia utilizando el software Exponent 6.2.4.0.

5.4. Análisis proximal

5.4.1. Humedad

Cualquier método de estufa utilizado para evaporar las humedades tiene como fundamento el hecho de que el punto de ebullición del agua es 100° C; no obstante, esto tiene en cuenta solo el agua pura, a nivel del mar. El agua libre es, de entre las tres formas del agua, la más fácil de eliminar. La facilidad en la eliminación del agua de los alimentos depende de cómo se encuentre presente ésta en el producto alimentario.

Los tres estados del agua en los alimentos son:

Agua libre: esta agua conserva sus propiedades físicas y, en consecuencia, actúa como agente dispersante para los coloides y como disolvente para las sales.

Agua adsorbida: esta agua está firmemente sujeta o está ocluida en las paredes celulares o el protoplasma, y está sujeta firmemente a las proteínas.

Agua de hidratación: esta agua se encuentra enlazada químicamente, por ejemplo, en el monohidrato de lactosa; también en algunas sales como el Na₂SO₄.

La determinación del contenido de humedad es necesaria para calcular el contenido de los demás constituyentes del alimento sobre una base uniforme (sobre la base del peso en seco). La materia seca que permanece después del análisis de humedad se conoce comúnmente como sólidos totales.

Se utilizaron cápsulas de aluminio, las cuales se dejaron 1 h a $102 \pm 2^\circ\text{C}$, a cada una de éstas, posteriormente, las cápsulas se colocaron en un desecador donde se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente. Una vez frías las cápsulas y mantenidas a peso constante les fue registrado su peso para posteriormente agregar 5 g de muestra previamente homogeneizada y se pesó nuevamente. Las cápsulas se colocaron en el horno y se sometieron a desecación a $102 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 4 h. Transcurrido este tiempo, se procedió al enfriamiento en el desecador y el conjunto se pesó.

El contenido de humedad de la hamburguesa se calculó por diferencia de pesos antes y después del tratamiento. La humedad se expresó como porcentaje en peso y se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P1 - P2}{P1 - P0} \times 100$$

Donde:

P0 = Peso en gramos de la cápsula.

P1 = Peso en gramos de la cápsula y muestra antes de desecar.

P2 = Peso, en gramos, de la cápsula y muestra, después de desecar.

5.4.2. Proteína

La determinación del contenido de proteína se realizó cuantificando el nitrógeno total según el método Kjeldahl siguiendo el procedimiento 992.15 (AOAC, 1999). Se utilizó un digestor Büchi K-425, (Flawil, Suiza) y una unidad de destilación de la misma marca (K-415).

Reactivos y materiales

Ácido sulfúrico al 98% (v/v).

Na OH al 40% (p/v).

Disolución valorada de HCl 0.1 M

Disolución de ácido bórico al 4% con verde de bromocresol y rojo de metilo como indicadores.

Procedimiento

Se preparó disolviendo 40 g de ácido bórico en aproximadamente 600 ml de agua destilada caliente. Una vez disuelto, se añadió más agua destilada hasta un volumen de 900 ml. Se dejó enfriar a temperatura ambiente, tras lo cual se añadieron 10 ml de una disolución de verde de bromocresol (100 mg en 100 ml de alcohol etílico) y 7 ml de una disolución de rojo de metilo (100 mg en 100 ml de alcohol etílico). Se enrasó a un volumen final de 1 l con agua destilada y se mezcló.

Se utilizó 1 g de muestra previamente homogeneizada la cual fue colocada en el tubo de digestión, añadiendo unas perlas de vidrio y una pastilla de catalizador. Seguidamente se añadieron 12ml de ácido sulfúrico concentrado, se agitó suavemente por rotación y se introdujo en la unidad de digestión, a una temperatura de 420°C a la que se llegó progresivamente. La digestión se mantuvo durante 3 horas, hasta la total clarificación, transformando el nitrógeno en amoníaco y quedando éste en disolución en forma de ion amonio.

Una vez realizada la digestión, se liberó el amoníaco mediante la alcalinización del medio con aproximadamente 50 ml de NaOH al 40% después de haber añadido 50 ml de agua destilada. El amoníaco se arrastró en una corriente de vapor durante aproximadamente 7 minutos en la unidad de destilación, hasta alcanzar un volumen de 150 ml del destilado, que se recogió en un matraz con 40 ml del reactivo de ácido bórico al 4%. El contenido se valoró por titulación con ácido clorhídrico 0,1 M hasta el viraje del indicador, midiendo el volumen gastado con una bureta. Además de las muestras se realizaron dos blancos.

El porcentaje de nitrógeno total se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Nitrógeno total} = \frac{1.4 f (V_f - V_0)}{P} \times N$$

Donde:

f = Factor del ácido clorhídrico

V_f = ml de HCl gastados en la valoración de la muestra V_0 = ml de HCl gastados en la valoración del blanco

P = Peso en g de la muestra

M = Normalidad del ácido clorhídrico

$$\% \text{ de proteína total} = \% \text{ Nitrógeno total} \times 6.25$$

*6.25= Factor de conversión de nitrógeno a proteína cruda en carne.

5.4.3. Grasa

Para la determinación de grasa se utilizó el sistema de extracción de grasa Soxhlet automatizado Buchi Modelo E816-HE (Suiza) siguiendo la metodología descrita Norma 991.36 (AOAC, 1999).

Reactivos

- Éter de petróleo 40-60°C

Procedimiento

Se partió de muestras secas obtenidas tras la determinación de humedad que fueron introducidas en cartuchos de celulosa, tapadas con algodón y colocadas en el equipo de extracción. Se colocaron los vasos de vidrio previamente llevados a peso constante los cuales contenían aproximadamente 80 ml de éter de petróleo). Una vez programado el equipo (extracción 3.45 h, lavado 5 min, secado 5 min), se inició el proceso de extracción de grasa.

Una vez terminado el proceso, se retiraron los vasos con la grasa y se introdujeron por 30 min en estufa a $100 \pm 2^\circ\text{C}$, se llevaron al desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente y peso constante. El contenido de grasa se expresó como porcentaje en peso según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{P_1 - P_0}{P_2}$$

Donde:

P0 = Peso en gramos del vaso vacío

P1 = Peso en gramos del vaso con grasa

P2 = Peso en gramos de la muestra (obtenida de humedad).

5.4.4. Cenizas

Se introdujeron unos crisoles de porcelana (marcados previamente) en estufa a $100 \pm 2^\circ\text{C}$ durante al menos 30 min para su desecación. Se sacaron y enfriaron en un desecador durante otros 30 min. Posteriormente éstos fueron pesados registrándose el peso exacto en una balanza analítica marca Biobase Modelo BA2204C (Tapachula, Chiapas, México) con cuatro decimales. En dichos crisoles fueron pesados 5 g de muestra anotando el peso exacto del incremento. Finalmente, al crisol con la muestra les fue añadido 1 ml de solución de acetato de magnesio anhidro al 15% (p/v).

El conjunto se mezcló uniformemente y se introdujo en la mufla a 100°C para ir subiendo la temperatura 50°C cada 30 min hasta llegar a 250°C . Posteriormente se subió a 550°C y se mantuvo a esa temperatura durante aproximadamente 1 hora, comprobando que tras ese tiempo las cenizas tenían un color blanco o ligeramente gris. En caso contrario, se añadieron 2 ml de agua destilada y se repitió el proceso de calcinación. Finalmente, los crisoles con las cenizas fueron enfriados en el desecador y posteriormente fueron pesados.

Paralelamente al análisis descrito se realizó un blanco por duplicado, incinerando un crisol con 1 ml de acetato de magnesio sin muestra, y se anotó el incremento de peso.

Las cenizas se expresaron como porcentaje en peso según la siguiente fórmula:

$$C = \frac{G3 - G1}{G2 - G1} \times 100$$

Donde:

C = Porcentaje de cenizas en base seca G1 = Peso del crisol vacío en g

G2 = Peso del crisol más la muestra seca en g

G3 = Peso del crisol más la muestra calcinada en g

5.4.5. Fibra

A 2g de muestra se le extrajo la grasa y se transfirió a un vaso Berzelius de 600 ml, al que se le añadieron 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25% hirviendo. Se colocó el vaso en el aparato sobre la placa caliente preajustada para que hirviera exactamente 30 minutos. Posteriormente se quitó el vaso y se filtró a través de una manta de cielo. Se enjuagó el vaso con agua hirviendo y se vertió sobre la manta de cielo, se lavó el residuo hasta que las aguas de lavado tuvieran un pH igual al del agua destilada.

Se transfirió el residuo al vaso con ayuda de 200 ml de NaOH al 1.25% hirviendo y se calentó a ebullición exactamente 30 minutos.

Se quitó el vaso y se lavó con agua hasta que las aguas de lavado tuvieron un pH igual al del agua destilada. Al residuo se le añadieron unas gotas de alcohol y se transfirió a un crisol a masa constante y se secó a 130°C durante 2 horas.

Por último, se calcinó a 600°C durante 30 minutos para enfriar y determinar su masa de acuerdo con la siguiente formula:

$$\% \text{ Fibra cruda} = \frac{\text{Peso crisol con muestra seca} - \text{Peso crisol con muestra calcinada}}{\text{Peso real de la muestra}} \times 100$$



Figura 3. Equipo utilizado para la determinación de fibra cruda

5.5. Análisis sensorial

Se realizó un análisis sensorial mediante una prueba de medición del grado de satisfacción, utilizando una escala estructurada de 7 puntos, siendo las alternativas de respuesta las siguientes: “Me gusta mucho” (7 puntos), “Me gusta moderadamente” (6 puntos), “Me gusta ligeramente” (5 puntos), “Ni me gusta ni me disgusta” (4 puntos), “Me disgusta ligeramente” (3 puntos), “Me disgusta moderadamente” (2 puntos), “Me disgusta mucho” (1 punto), para evaluar el grado de satisfacción de las hamburguesas. Se utilizaron 93 jueces consumidores, estudiantes del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. de los cuales 50 eran mujeres y 43 hombres con una media de edad de 19.28 ± 3.81 .

5.6. Análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente aleatorio para determinar el efecto de la incorporación de harinas en el producto cárnico. Las harinas de cáscara y semilla se utilizaron como factor fijo. Se realizó un análisis descriptivo de los datos y una prueba de comparación de medias de Tukey de un solo factor para determinar las diferencias estadísticas ($P < 0.05$), utilizando el software Minitab versión 21 (Minitab Inc., State College, PA, EE. UU.).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Características fisicoquímicas

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las características fisicoquímicas estudiadas (rendimiento de los componentes de la yaca, pH, actividad de agua, pérdidas de peso y color).

6.1.1. Rendimiento de los componentes de la yaca

Tras la obtención de los componentes y el secado de las muestras (cáscara y semilla), se presenta en la Tabla 3, el valor promedio y su rendimiento (en porcentaje) de los componentes de la yaca, se puede observar que tan solo la cáscara representa poco más del 50% del total del peso de la yaca, la fruta que se obtiene constituye el 35%, y la semilla solo un 13%.

De acuerdo con Cruz-Casillas *et al.*, (2021), las semillas de la yaca varían en número entre 100 y 500 las cuales representan del 18 al 25% del peso total del fruto, mencionan, además, que los núcleos de la semilla representan del 90 al 95% de su peso y la pulpa representa el 30% del peso del fruto. Por otro lado, Akter y Haque (2019), mencionan que del 70 al 80% de los componentes de la yaca no son comestibles, que, de ellos, alrededor del 60% corresponden a la cáscara exterior, perianto y núcleo central, los cuales se consideran desechos que generalmente se descartan.

Tabla 3. Rendimiento de los componentes de la yaca en fresco y en seco

Componente	Rendimiento (%)	
	<i>Muestra en fresco</i>	<i>Muestra en seco</i>
Cáscara	51.00	16.00
Fruta	35.50	ND
Semilla	13.50	21.90

ND: no se determinó

Como se ha mencionado anteriormente, dado que la cáscara representa más de la mitad del peso de la yaca se considera importante darle un valor agregado a este subproducto que en gran medida es desperdiciado, una alternativa, puede ser el

enriquecimiento de algunos alimentos, sobre todos los ricos en grasa saturada, mediante su incorporación como fuente de fibra, con todos los beneficios nutricionales que ello implica.

6.1.2. pH y actividad de agua en la carne para hamburguesa

Los resultados del pH y actividad de agua (a_w) se muestran en la Tabla 4. Respecto al valor del pH, se obtuvo una media de 5.64 entre los tratamientos. Dicho valor se considera adecuado cuando se ha completado el proceso de maduración de la carne la cual debe tener un pH comprendido entre 5.4 y 5.6 como pH idóneo de la carne, lo que permite una buena vida comercial al inhibir el crecimiento de microorganismos, y le proporciona las características fisicoquímicas adecuadas (CFIA,2023).

Se observa que el tratamiento control presentó un valor de pH más elevado que el tratamiento con fibra de semilla ($P < 0.05$), aunque respecto al valor de la carne adicionada con fibra de cáscara, no se muestran diferencias. Tampoco existen diferencias entre los tratamientos entre fibra con cáscara y semilla.

Según algunos estudios sobre las propiedades fisicoquímicas de diferentes partes de la yaca, se ha encontrado que la semilla y cáscara presentan valores de pH ácidos, en el rango de 5.0 a 6.0. Algunos autores como Piña-Dumoulin *et al.*, 2010, reportan valores de pH de 5.94 a 6.80 en semilla y de 6.02 a 6.46 en cáscara. Por su parte, algunos otros como Villalva-Peralta *et al.*, (2023) han encontrado valores de pH más bajos, de 4.75 para la semilla y de 4.17 para la cáscara. Esta acidez de la semilla puede explicar la diferencia entre los tratamientos utilizados, cuando ésta es incorporada en la carne resultando en valores de pH más bajos como ocurrió en este estudio.

En otros estudios donde se han incorporado algunos componentes ácidos como en el caso de la jamaica en carne para hamburguesas de res (Pérez-Báez, 2015), se comprobó una disminución en los valores de pH a medida que aumenta la cantidad de jamaica en la formulación, esto por su naturaleza ácida que ronda en valor de $\text{pH} = 2.4$ debido a su composición de ácidos gálico y elágico principalmente.

Tabla 4. Resultados del valor del pH y de la actividad de agua (aw) en las muestras crudas de carne para hamburguesa de los distintos tratamientos evaluados

Tratamiento	pH	Actividad de agua (aw)
Control	5.66±0.02 ^a	0.960±0.003 ^a
Cáscara	5.63±0.04 ^{ab}	0.952±0.003 ^b
Semilla	5.63±0.02 ^b	0.953±0.004 ^b

a, b: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas

Respecto al valor de la actividad de agua, también se observan diferencias ($P < 0.05$), el tratamiento control presentó una mayor actividad de agua en comparación con la carne para hamburguesa donde se incorpora harina de semilla o de cáscara, estas diferencias pueden ser atribuidas al valor del pH, que en el caso del tratamiento control fue mayor que en los demás tratamientos.

Li y Torres (1993), mencionan que en el caso de productos cárnicos refrigerados crudos o mínimamente procesados, sobrevive una carga microbiana significativa. Una aw elevada y pH cercano al neutro, una actividad de agua mayor a 0.95, y un pH mayor a 5.2, los clasifica como productos altamente perecederos, pero cuando el pH y la aw son menores, pH de 5.2 a 5.0 y aw entre 0.95 y 0.91, el producto se clasifica como perecedero. Debido a lo anterior este tipo de productos se mantienen congelados para asegurar su estabilidad microbiana por más tiempo.

La combinación de un pH bajo y una aw controlada puede ser utilizada en la tecnología de barreras para mejorar la estabilidad microbiana de los productos cárnicos. Esta técnica es efectiva para prevenir el crecimiento de patógenos y asegurar la calidad del producto durante su vida útil (Li y Torres, 1993).

6.1.3. Pérdidas de peso a la cocción

En la Tabla 5, se muestran las pérdidas de peso a la cocción de la carne para hamburguesa después del proceso de cocimiento, se aprecian los resultados de las pérdidas de peso de las muestras, estas se calcularon por diferencias de peso entre la hamburguesa congelada y la hamburguesa cocida.

Tabla 5. Pérdida de peso y reducción de tamaño (espesor) durante el proceso de cocción de la carne para hamburguesa

Tratamiento	Pérdida de peso (%)	Reducción (espesor)
Control	9.6 ± 2.9	-1.19
Cáscara	9.7 ± 2.7	-1.44
Semilla	10.4 ± 2.9	-0.93

Respecto a las pérdidas de peso durante la cocción, las muestras mostraron una merma promedio del 9.9%, lo que es un valor relativamente bajo para productos cárnicos cocidos. Esta reducción de peso se debe principalmente a la pérdida de agua y grasa durante el proceso de cocción, que es una característica esperada en productos con contenido de fibras o harinas, ya que estas pueden influir en la retención de agua y grasa, mejorando la capacidad de retención de los jugos.

A pesar de la incorporación de harina de yaca, no se observaron diferencias significativas en las pérdidas de peso entre las muestras, lo que sugiere que la fibra no afectó negativamente la capacidad de retención de humedad durante la cocción.

Del mismo modo, no se reportaron diferencias significativas en la reducción del tamaño de las piezas, lo que indica que la adición de harinas no alteró de manera notable la estabilidad dimensional de las hamburguesas. Estos resultados podrían explicarse por la capacidad de la fibra para retener agua, que en algunos estudios ha demostrado mejorar la estabilidad de los productos cárnicos durante la cocción, sin alterar de manera importante su estructura física (Jiménez Colmenero *et al.*, 2001).

Además, es importante destacar que, en otros estudios similares, la incorporación de harinas de residuos vegetales ha mostrado tener un impacto en la reducción de la merma durante la cocción, mejorando la jugosidad y la textura final del producto cárnico (Rivera de Alba y Flores Girón, 2022). El hecho de que en este estudio no se observasen diferencias significativas entre las muestras podría deberse a que las cantidades de fibra añadidas no fueron lo suficientemente elevadas como para provocar cambios significativos en la retención de agua o en la reducción de tamaño.

Por otro lado, Castellanos-Tolosa y Sánchez-Jiménez en 2021, realizaron un estudio donde compararon hamburguesas adicionadas con harina de grillo haciendo una comparación con tres marcas comerciales de hamburguesas vegetarianas, solo en

una de ellas se observan valores similares (8.03%) a los encontrados en este estudio (9.9%) mientras que en las demás muestras comerciales reportan valores muy por encima a estos resultados, entre 19 y 22%.

Como se ha mencionado, estas diferencias pueden ser atribuidas a varios factores, entre ellos, las diferencias en la formulación, el contenido de carne, de grasa, el contenido de humedad de las materias primas utilizadas, el valor del pH de la carne y sobre todo la capacidad de retención de humedad que esta tenga (Hamm, 1986).

Otros autores como (Castillejos *et al.*, 2011) al agregar semilla de chíá como fuente de fibra en una salchicha, observaron que la humedad expresable fue menor al testigo, esto debido a que la adición de fibra dietética puede tener efectos tecno funcionales como habilidad para retener grasa, formación de geles y como agente texturizante. En contraste, estos resultados comparados con este estudio, el tratamiento control contiene celulosa se observó que tiene los mismos efectos respecto a las pérdidas de peso que la fibra de cáscara y semilla.

La importancia de las fibras no solo radica en las propiedades fisiológicas en el organismo, sino además en las ventajas tecnológicas que tienen en los alimentos tales como la capacidad de retención de agua, la disminución de pérdidas por cocción, capacidad de retención de aceites entre otras, mejorando las características sensoriales, es por esto que los productos con fibras adicionadas son una excelente opción para su consumo, debido a sus propiedades funcionales y nutricionales, así como también representan grandes ventajas económicas tanto para los consumidores y procesadores (Cobos-Velasco *et al.*, 2014).

6.1.4. Color

Respecto al color de las hamburguesas (Tabla 6), se observaron pocas diferencias significativas entre los distintos tratamientos. No se registraron diferencias estadísticas en los parámetros de luminosidad (L^*) ni en el índice de rojos (a^*) entre las muestras ($P>0.05$), con valores promedio de 69 y 15, respectivamente. Esto sugiere que la adición de harina, tanto de cáscara como de semilla de yaca, no afectó significativamente la luminosidad ni el tono rojo de las hamburguesas.

En cuanto a las tonalidades amarillas (b^*), se observó una diferencia significativa entre los tratamientos ($P < 0.05$). La muestra con fibra de cáscara de yaca presentó un valor más alto de b^* (10.57) en comparación con la muestra que contenía harina de semilla (8.21). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las muestras de harina de cáscara y la muestra control (8.79), ni entre la muestra de harina de semilla y el control (8.21 vs. 8.79, respectivamente).

La diferencia en las tonalidades amarillas entre las muestras puede atribuirse al color natural de la cáscara de la yaca, que varía según el grado de madurez del fruto. Estudios previos han reportado que el valor L^* de la cáscara de yaca oscila entre 50 y 60, lo que indica una luminosidad relativamente alta; mientras que el valor a^* varía entre -3 y 2, reflejando tonos verdosos en frutos inmaduros. En cuanto al parámetro b^* , los valores suelen estar en el rango de 15 a 25, lo que indica una tendencia hacia los tonos amarillos en frutos maduros (Lucena-Cavalcante *et al.*, 2012).

Este comportamiento explica la tendencia de las muestras con harina de cáscara a mostrar un mayor valor de b^* , lo cual es consistente con la coloración amarilla característica de las cáscaras maduras de yaca, como lo reporta el estudio mencionado, donde se observa un predominio de tonos amarillos en la cáscara del fruto maduro.

Tabla 6. Parámetros de color de las distintas formulaciones de carne para hamburguesa

Tratamiento	L^*	a^*	b^*
Control	68.42 ± 3.27	14.63 ± 1.60	8.79 ± 2.00^{ab}
Cáscara	68.80 ± 3.24	15.98 ± 0.87	10.57 ± 2.01^a
Semilla	71.13 ± 3.35	14.42 ± 1.94	8.21 ± 1.40^b

L^* : Luminosidad, a^* : Índice de rojo-verde, b^* : Índice de amarillo-azul.

^{a, b}: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas

Cabe mencionar que la incorporación de fibras o harinas en productos cárnicos como la carne para hamburguesa también ha sido estudiada por Frómeta-Cardentey y Gómez-Pallarés (2022), debido a sus beneficios para la salud y su potencial para mejorar la funcionalidad del producto. Sin embargo, son pocos los estudios que mencionan específicamente el color de la fibra de yaca incorporada en carne para hamburguesa.

Castellanos-Tolosa y Sánchez-Jiménez (2021), realizaron un estudio donde incorporaron harina de grillo en diferentes concentraciones. Estos autores concluyeron que ninguno de los factores ni la interacción entre ellos afectó significativamente al tono y a la diferencia global de color de la carne.

Por su parte, Alarcón-García (2013), en un estudio realizado utilizando cáscara de plátano como recurso de fibra en hamburguesas, observó que el comportamiento de L^* fue muy variable ($P < 0.05$) tanto entre tratamientos como a través del tiempo, se evidencia una disminución de los valores de la coordenada colorimétrica L^* (claridad) en los tratamientos en donde hubo inclusión de la fuente de fibra dietaria. la fuente de fibra tiene un efecto directo sobre los valores de tono evidenciado por la diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos con inclusión de fibra y el tratamiento control.

6.1.5. Análisis de perfil de textura

De acuerdo con el análisis de perfil de textura (TPA) descrito en la Tabla 7, no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos para los parámetros estudiados, incluyendo dureza, elasticidad, cohesividad y resiliencia. Estos resultados sugieren que la incorporación de harina de yaca no afectó significativamente la textura de las hamburguesas, manteniéndose comparables a la muestra control.

Tabla 7. Análisis del perfil de textura (dureza, resiliencia, cohesividad y elasticidad de la carne para hamburguesas

Tratamiento	Dureza	Elasticidad	Cohesividad	Resiliencia
Control	7.08±4.70	0.76±0.08	3.15±1.75	0.53±0.08
Cáscara	5.96±3.60	0.79±0.06	3.30±1.81	0.55±0.07
Semilla	6.56±4.20	0.78±0.06	3.25±1.77	0.52±0.08

En estudios previos, como el realizado sobre la incorporación de *Undaria sp.* en hamburguesas de cerdo, se observó que la dureza y la masticabilidad se vieron afectadas por factores como el tiempo de almacenamiento y la formulación, mostrando una interacción significativa entre ambos factores ($P < 0.05$) (Nagai *et al.*, 2019). Esto

fue atribuido a los hidrocoloides aportados por la harina de *Undaria sp.*, que aumentaron la capacidad de retención de agua, lo que incrementó la firmeza del producto.

Sin embargo, otros estudios como el de Ladero *et al.*, (2012), que evaluaron la inclusión de fibra de tomate en hamburguesas, no encontraron diferencias significativas en el parámetro de dureza (8.12 vs. 9.88) debido a la incorporación de fibra ni al tiempo de almacenamiento (90 días). Esto coincide con los resultados de este estudio, donde la adición de fibra de yaca tampoco produjo cambios notables en la dureza ni en otros parámetros texturales.

En conjunto, estos estudios sugieren que la influencia de la fibra o harina en la textura de productos cárnicos depende del tipo de fibra, su capacidad de retención de agua y su interacción con otros componentes de la formulación. En el caso de la harina de yaca, parece no afectar significativamente las propiedades texturales, a diferencia de otros tipos de fibras más ricas en hidrocoloides.

6.1.6. Análisis proximal

En la tabla 8, se presentan los resultados del análisis proximal de las hamburguesas adicionadas con harina de cáscara y de semilla de yaca junto con la muestra control. Los valores se expresan como gramos por cada 100 gramos de materia fresca, acompañados de sus respectivas desviaciones estándar, lo que permite evaluar la variabilidad de los datos.

Los parámetros analizados incluyen el contenido de humedad, que refleja la cantidad de agua retenida en la carne; el contenido de grasa, esencial para la jugosidad y el sabor del producto; la proteína, fundamental para la calidad nutricional y estructural; las cenizas, que indican el contenido de minerales; la fibra, relevante en las muestras enriquecidas, y los carbohidratos, calculados por diferencia (valor restante tras deducir los otros componentes principales).

Tabla 8. Análisis proximal (%) de la carne para hamburguesa incorporada con fibra de semilla y cáscara de Yaca

Tratamiento	Humedad	Proteína	Grasa	Cenizas	Fibra	Carbohidratos
Control	62.96 ± 1.03	18.78 ^a ± 1.25	13.22 ± 1.96	3.03 ^c ± 0.01	1.81 ± 0.87	0.20

Cáscara	61.67 ± 0.87	15.80 ^{ab} ± 0.54	16.60 ± 0.98	3.30 ^b ± 0.10	0.34 ± 0.02	2.39
Semilla	59.66 ± 2.10	12.65 ^b ± 0.02	14.01 ± 0.54	3.58 ^a ± 0.07	1.67 ± 1.17	8.44

^{a, b}: Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas

En cuanto al contenido de humedad, no se observan diferencias estadísticas entre los tratamientos con una media del 61.4%, sin embargo, fue el tratamiento control el que muestra un valor un poco más elevado en cuanto a humedad (63%) y el de menor humedad con un porcentaje del 60%.

El contenido de humedad en la carne de hamburguesa puede variar significativamente dependiendo de la formulación y el método de cocción utilizado. En investigaciones previas, los valores de humedad para hamburguesas cocidas generalmente oscilan entre el 42.98% y el 63%. Estos valores están en línea con los reportados en este estudio, donde la humedad media fue del 61.4%. Cabe señalar que las diferencias en el contenido de humedad van a depender de la proporción de grasa en la formulación, la adición de ingredientes y las condiciones de cocción (Wordu y Eke-Ejiofor, 2020).

Respecto al contenido de proteína de los tratamientos estudiados, se observan diferencias principalmente entre el tratamiento control (18.78%) y el tratamiento con harina de semilla (12.64%) con una media del 15.74% entre tratamientos. El contenido de proteína en la calidad de la carne para hamburguesa es importante, debido a que una cantidad de proteína mayor permite mejores propiedades funcionales en cuanto el ligado de la grasa, sin dejar de mencionar la importancia que tiene sobre el aspecto nutritivo.

Las proteínas de la carne actúan como agentes estabilizadores, ayudando a mantener la cohesión de la hamburguesa y favoreciendo la retención de agua durante la cocción. Esto es importante para prevenir que las hamburguesas pierdan demasiada humedad, lo que afectaría la jugosidad y textura del producto (Hughes *et al.*, 1997).

Las hamburguesas ricas en proteínas son una fuente importante de aminoácidos esenciales para el crecimiento y la reparación de tejidos en el cuerpo humano. Mantener un contenido adecuado de proteínas asegura que el producto no solo sea delicioso sino también nutritivo (Troy y Kerry, 2010).

Las proteínas también contribuyen a la formación de una textura adecuada en la hamburguesa, proporcionando firmeza y una sensación de masticación característica.

La falta de proteínas, o un mal equilibrio de estas, puede llevar a una textura menos agradable y reducir la aceptación sensorial del producto (Martín-Mateos *et al.*, 2023).

Otros autores como García *et al.*, (2013), donde elaboraron carnes para hamburguesa con cachama blanca y soya texturizada, encontraron valores de proteína de 17.57 a 18.87%, similares a los del tratamiento control del presente estudio (18.78). Se encontró que el agregar pulpa de cachama se elevó el contenido de proteína ya que contiene mayores proteínas vegetales que la soya texturizada.

En cuanto al contenido de grasa tampoco se muestran diferencias entre tratamientos, con valores medios que oscilan en 14.6%. Sin embargo, fue el tratamiento adicionado con harina de cáscara el que presentó un valor más elevado (16.6%) y el tratamiento el de menor contenido de grasa (13.2%). Estos resultados coinciden con estudios previos, como el de Monjaras (2018), quien observó que las hamburguesas con adición de hongos como *Agaricus bisporus* y con diferentes niveles de grasa oscilaban entre el 10% y 20% de grasa.

También García *et al.*, (2013), que evaluaron la carne para hamburguesa con cachama blanca y soya texturizada, los resultados de los tratamientos formulados con mayor proporción de harina revelaron disminución del contenido de grasa (8%), valores cercanos a los encontrados en la hamburguesa control de este estudio.

El contenido de grasa en las hamburguesas tiene un papel importante en varios aspectos del producto, incluyendo su sabor, textura, jugosidad y aceptación sensorial. La grasa en productos cárnicos como la hamburguesa no solo mejora el perfil de sabor, sino que también es fundamental para la palatabilidad y la experiencia del consumidor. La grasa es responsable de retener la humedad durante la cocción, lo que da como resultado una hamburguesa más jugosa.

Según estudios, la reducción del contenido de grasa puede afectar negativamente la jugosidad y la textura del producto. Esto se debe a que la grasa ayuda a crear una sensación en boca agradable y refuerza los compuestos volátiles que influyen en el sabor (El-Magoli *et al.*, 1996).

La grasa también afecta la estructura de la carne. Un contenido de grasa adecuado en hamburguesas mejora la sensación en boca al proporcionar suavidad y mejorar la

cohesión de los componentes durante la cocción. Varios estudios han demostrado que la reducción de grasa en productos cárnicos, sin el uso de sustitutos adecuados, puede generar productos más secos y duros (Jiménez-Colmenero *et al.*, 2001).

Un contenido elevado de grasa, sin embargo, ha sido objeto de críticas debido a sus implicaciones para la salud, particularmente con el aumento de enfermedades cardiovasculares asociadas al consumo de grasas saturadas. Estudios actuales sobre productos cárnicos bajos en grasa, que buscan mejorar el perfil nutricional de las hamburguesas, apuntan a la incorporación de fibras y geles como reemplazo parcial de la grasa para mantener las propiedades sensoriales (Grasso *et al.*, 2014).

Por otro lado, en cuanto al contenido de cenizas en la carne para hamburguesa, si se muestran diferencias ($P < 0.05$) entre los tres tratamientos, con un mayor contenido, la carne que contiene la harina de semilla (3.58%), en segundo lugar, la que contiene cáscara (3.30%), y la de menor valor (3.03%) la muestra control.

Estas diferencias, pueden ser atribuidas a que las harinas de las semillas de yaca pueden tener un mayor contenido de cenizas en comparación con la cáscara y por supuesto al tratamiento control. Esto se debe a que las semillas concentran una mayor cantidad de minerales, que se reflejan en el contenido de cenizas, el residuo mineral que queda después de quemar el material orgánico. Según varios estudios, las semillas de yaca contienen una cantidad significativa de minerales como potasio, calcio y hierro, lo que resulta en un mayor porcentaje de cenizas en comparación con otras partes del fruto, como la cáscara, que es rica en fibra y otros compuestos, pero tiene un menor contenido mineral.

Un estudio realizado por Hettiaratchi *et al.*, (2011), estos autores reportaron que las semillas de yaca contienen un contenido considerable de cenizas (entre el 1.25% y el 1.50%), mientras que la cáscara, aunque también contiene minerales, su concentración es más baja. En otro estudio de Ocloo *et al.*, (2010) encontraron que las semillas de yaca tienen un perfil mineral rico, lo que sustenta su mayor contenido de cenizas.

6.1.7. Análisis sensorial

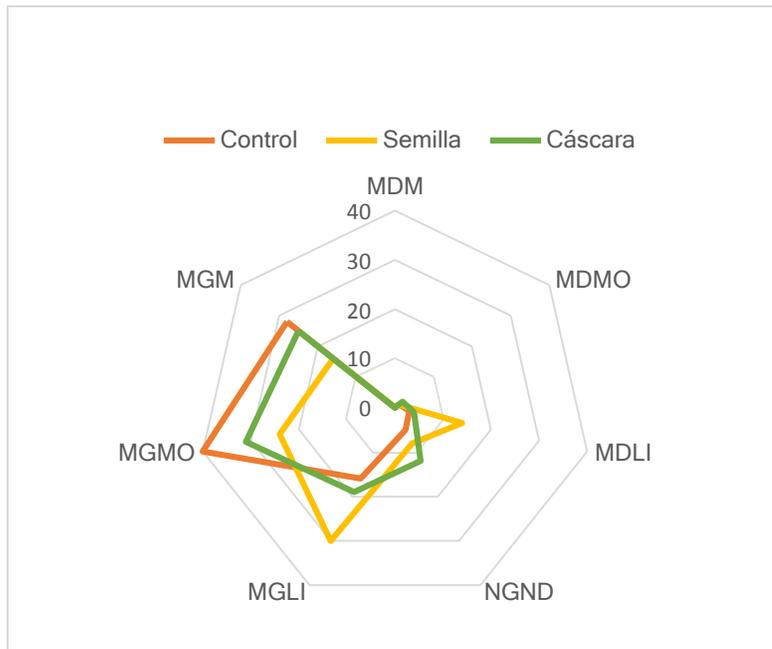


Figura 4. Prueba de la medición del nivel de agrado de las muestras

MGM: Me gusta mucho, MGMO: Me gusta moderadamente, MGLI: Me gusta ligeramente, NGND: Ni me gusta ni me disgusta, MDLI: Me disgusta ligeramente, MDMO: Me disgusta moderadamente, MDM: Me disgusta mucho.

Finalmente, se evaluó la aceptación sensorial de las hamburguesas elaboradas con adición de harinas de cáscara y semilla de yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*), con el fin de determinar el impacto de la adición de estas en la calidad sensorial del producto.

Las puntuaciones más valoradas por los consumidores como me gusta moderadamente (MGMO) y me gusta mucho (MGM) fueron las registradas en la muestra control con un 73%, en segundo lugar, fue la muestra de carne que contenía harina de cáscara con un 60% y en tercer lugar la carne con harina de semilla con un 43%. Lo que indica una percepción positiva hacia la calidad sensorial de la hamburguesa sin adición de harina de semilla de yaca.

Las harinas pueden interferir con la percepción del sabor original de la carne. Aunque algunas harinas son neutras, pueden modificar la liberación de compuestos volátiles que dan sabor, haciendo que el producto tenga un sabor menos intenso o con un

retrogusto distinto. Si los evaluadores prefieren la muestra control, es posible que la adición de fibras haya enmascarado o diluido el sabor característico de la carne. Jiménez-Colmenero y *et al.* (2001), reportaron que la incorporación de fibras en productos cárnicos puede modificar el perfil sensorial, particularmente en lo que respecta al sabor, ya que puede alterar la liberación de compuestos volátiles responsables del sabor característico de la carne. Esto puede llevar a una disminución en la intensidad del sabor percibido en productos con fibra en comparación con las muestras control.

Por otro lado, la textura es un factor clave en la aceptación sensorial de productos cárnicos. La adición de fibras o harinas puede hacer que las hamburguesas sean más secas o menos jugosas, lo que podría explicar por qué los evaluadores prefirieron la muestra control. Estudios previos han demostrado que la incorporación de fibras puede aumentar la firmeza del producto, pero si no se ajusta adecuadamente, puede resultar en una sensación desagradable en la boca

La apariencia también puede ser un factor que afecte la percepción sensorial. Las fibras pueden alterar el color o la homogeneidad de la hamburguesa, lo que puede influir en la primera impresión que tienen los consumidores del producto. Si la muestra control fue percibida como más atractiva visualmente, esto también puede haber jugado un papel en su preferencia (Montalvo-Navarro *et al.*, 2022).

7. CONCLUSIONES

- ❖ La cáscara de la yaca representa más del 50% del peso total de la fruta y suele ser desperdiciada. Sin embargo, puede aprovecharse como una fuente de fibra para enriquecer alimentos, especialmente aquellos con alto contenido en grasas saturadas como el caso de las hamburguesas, aportando beneficios nutricionales.
- ❖ Los valores de pH obtenidos muestran que la carne tiene un pH adecuado para una buena vida comercial. La adición de fibra de semilla redujo el pH en comparación con el control, pero no hay diferencias significativas con la fibra de cáscara. La acidez de las semillas puede contribuir a estos valores de pH más bajos.
- ❖ Se observó que la carne con harina de semilla o cáscara tienen menor aw comparada con la carne control. Esto, junto con un pH más bajo, puede ser utilizado para mejorar la estabilidad microbiana y prolongar la vida útil de los productos cárnicos.
- ❖ En promedio, las muestras de hamburguesas redujeron su peso en un 9.9% durante el cocimiento, sin diferencias significativas entre ellas.
- ❖ En las hamburguesas adicionadas con harina de yaca, no se observaron diferencias significativas en el contenido de humedad entre tratamientos, con una media de 61.4%, aunque el tratamiento control mostró valores levemente más elevados.
- ❖ El contenido de grasa fue consistente en los tratamientos, pero las hamburguesas con harina de cáscara presentaron niveles más elevados (16.6%) comparado con el control (13.2%).
- ❖ El contenido de proteína mostró diferencias, con el tratamiento control (18.78%) obteniendo el mayor valor, destacando así en calidad nutricional.
- ❖ En cuanto a cenizas, el tratamiento con harina de semilla presentó el valor más alto (3.59%), atribuido al mayor contenido mineral de las semillas.
- ❖ La muestra control de hamburguesas fue la más valorada con un 73% de aceptación seguida de la muestra con harina de cáscara (60%) y la de semilla (43%). La adición de harinas puede afectar negativamente el sabor, la textura y la apariencia de las

hamburguesas, lo que podría explicar la preferencia por la muestra control sin harinas.

8. REFERENCIAS

- Akter, F. & Haque, M.A. (2019). Jackfruit waste: a promising source of food and feed. *Ann. Bangladesh Agric.* 23(1):91-102.
- Alarcón-García, M.Á. (2013). Cáscara de plátano (musa aab) como un nuevo recurso de fibra dietaria: aplicación a un producto cárnico. Trabajo de grado-maestría. Universidad Nacional de Colombia.1-68.
- Barbosa-Cánovas, G.V., Fontana, A.J., Schmidt, S.J. and Labuza, T.P. (2020). Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications, Second Edition. John Wiley & Sons, Inc. Published 2020 by John Wiley & Sons, Inc.
- Canadian Beef. (2022). Cómo congelar y descongelar la carne de forma correcta. Canadian Beef, Disponible en: <https://canadabeef.mx/como-congelar-y-descongelar-la-carne-de-forma-correcta/>. Acceso: 25.11.2024.
- Castellanos-Tolosa, N. & Sánchez-Jiménez, M. (2021). Desarrollo de carne de hamburguesa a base de harina de grillo. Universidad de los Andes. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/55654>.
- Castillejos-Gómez, B.I., Chaparro-Hernández, J., Fuentes-Aguilar, G., Díaz-Vela, J. (2011). Utilización de la Semilla de chía (*Salvia hispánica* L.) como fuente de fibra natural en un producto cárnico. *Nacameh*. Coloquio Nacional de Ciencia y tecnología de la Carne. 5(1):S1-S41.
- CFIA (2023). Canadian Food Inspection Agency. Certification conditions for importation of meat products. Disponible en: <https://inspection.canada.ca/en/importing-food-plants-animals/food-imports/food-specific-requirements/approved-countries>. Acceso: 22.09.2024.
- Chamorro-Ramírez, F., González-Sánchez, J., Medina-González, O., Azpe-Franco, A., y Arce-Jurado, G. (2013). Desarrollo de hamburguesas adicionadas con fibra de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y cacao en polvo (*Theobroma cacao*), características nutritivas, fisicoquímicas y sensoriales. *Nacameh*. 7(2):97-108.
- Chávez-Zepeda, L., Cruz-Méndez, G., Gracia de Caza, L., Díaz-Vela, J., y Pérez-

- Chabela, M. (2009). Utilización de subproductos agroindustriales como fuente de fibra para productos cárnicos. *Nacameh*. 3(2):71-82.
- Cobos-Velasco, J., Soto-Simental, S., Alfaro-Rodríguez, R.H., Aguirre-Álvarez, G., Rodríguez-Pastrana, B.R., & González-Tenorio, R. (2014). Evaluación de parámetros de calidad de chorizos elaborados con carne de conejo, cordero y cerdo, adicionados con fibra de trigo. *Nacameh*. 8(1):50-64.
- COMECARNE. (2024). Panorama cárnico internacional. Consejo Mexicano de la Carne. Disponible en: <https://comecarne.org/compendio-estadistico-2024/>. Acceso: 24.11.2024.
- Crane, J.H. & Balerdi, C.F. (2006). La Jaca en Florida: HS1038/HS283. Vol. 2006. No.6 UFAS. Extensión Universidad de Florida. <https://doi.org/10.32473/edis-hs283-2005>
- Cruz-Casillas, F.C., García-Cayuela, T., & Rodriguez-Martinez, V. (2021). Application of Conventional and Non-Conventional Extraction Methods to Obtain Functional Ingredients from Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus Lam.*) Tissues and By-Products. *Applied Sciences*. 11(16): 7303. <https://doi.org/10.3390/app11167303>.
- El-Magoli, S., Laroia, S., & Hansen, P. (1996). Flavor and texture characteristics of low fat ground beef patties formulated with whey protein concentrate. *Meat Science*. 42(2):179-193.
- FAO. (2024). Alimentación y agricultura sostenibles. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <https://www.fao.org/sustainability/background/es/>. Acceso: 22.11.2024.
- Forrest, J., Aberie, E., Hedrick, H., Judge, M., & Merkel, R. (1979). Fundamentos de la ciencia de la carne. Zaragoza, España: Acribia.
- Frómeta-Cardentey, R. & Gómez-Pallarés, M. (2022). Revisión bibliográfica: Incorporación de fibras en productos cárnicos. Máster en Calidad, Desarrollo e Innovación de Alimentos. Uvadoc. 3-31.
- Fuentes-López, A., García-Martínez, E. & Fernández-Segovia, I. (2013).

- Determinación de la capacidad de retención de agua (CRA). Método de prensado. Universitat Politècnica de Valencia. Disponible en: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/29835/Determinaci%C3%B3n%20CRA_m%C3%A9todo%20prensado.pdf?sequence=3. Acceso: 27.11.2024
- García, G. 2024. La tendencia plant-based avanza ante el aumento de la alimentación flexitariana. *The Food Tech*. Disponible en: <https://thefoodtech.com/ingredientes-y-aditivos-alimentarios/la-tendencia-plant-based-avanza-ante-el-aumento-de-la-alimentacion-flexitariana/#:~:text=Seg%C3%BAun%20estudio%20de%20The,dietas%20m%C3%A1s%20saludables%20y%20sostenibles>. Acceso: 25.11.2024.
- García, O., Acevedo, I. & Ruíz-Ramírez, J. (2013). Análisis proximal, evaluación microbiológica y sensorial de carnes para hamburguesas elaboradas con cachama blanca (*Piaractus brachyomus*) y soya (*Glycine max*) textuizada. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 4(2):219-236. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/329403802_Analisis_proximal_evaluacion_microbiologica_y_sensorial_de_carnes_para_hamburguesas_elaboradas_con_cachama_blanca_Piaractus_brachyomus_y_soya_Glycine_max_textuizada. Acceso: 27.11.2024.
- Gök, V., Akkaya, L., Obuz, E. & Bulut, S. (2011). Effect of ground poppy seed as a fat replacer on meat burgers. *Meat Science*. 89(4):400-404. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0309174011001689>. Acceso: 27.11.2024.
- Grasso, S., Brunton, N.P., Lyng, J.G., Lalor, F., & Monahan, F.J. (2014). Healthy processed meat products-Regulatory, reformulation and consumer challenges. *Trends in Food Science & Technology*. 39(1):4-17. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.06.006>.
- Hamm, R. (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. In: *Food Science and Technology*. Muscle as food. Ed.: Peter J. Bechtel. Academic Press. ISBN 9780120841905. Pages 135-199.

- <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-084190-5.50009-6>.
- Herrera-Canto, E.E. (2015). La Yaca (*Artocarpus heterrophyllus*), una fruta muy singular y sus usos tradicionales. Herbario. Desde el herbario CICY 7:169-171. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. ISSN: 2395-8790.
- Hettiaratchi, U., Ekanayake, S. & Welihinda, J. (2011). Nutritional assessment of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) meal. *Ceylon Medical Journal*. 56(2):54-58. DOI: 10.4038/cmj.v56i2.3109.
- Hoek, A.C., Luning, P.A., Weijzen, P., Engels, W., Kok, F.J., y Cees de Graaf. (2011). Replacement of meat by meat substitutes. A survey on person- and product-related factors in consumer acceptance. *Appetite*. 56(3):662-673.
- Horcada, A., & Polvillo, O. (2010). Capítulo 5. Conceptos básicos sobre la carne. La producción de carne en Andalucía. 113-139. Editorial Junta de Andalucía Consejería de Agricultura y Pesca. ISBN: 978-84-8474-287-6.
- Hughes, E., Gofrades, S., & Troy, D. (1997). Effects of a fat level, oat and carrageenan on frankfurters formulated with 5%, 12% and 30% fat. *Meat Science*. 45(3):273-281.
- ISO (2018). International Organization for Standardization. ISO 22000:2018 Food Safety Management Systems – A practical guide. Suiza: International Organization for Standardization.
- Jean, A., & Régine, F. (1990). La ciencia de los alimentos de la A a la Z. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- Jiménez-Colmenero, F., Carballo, J., & Cofrades, S. (2001). Healthier meat and meat products: their role as functional foods. *Meat Science*. 59(1):5-13. doi: 10.1016/s0309-1740(01)00053-5.
- Jiménez-Colmenero, F., Reig, M., & Toldrá, F. (2017). New approaches for the development of functional meat products. En: *Advanced Technologies for Meat Processing*. 2nd Edition. Chapter 13. 40 pages. eBook ISBN: 9781315152752.
- King, D.A., Hunt, M.C., Barbut, S., Claus, J.R., Cornforth, D.P., Joseph, P., Kim, Y.H.,

- Lindahl, G., Mancini, R.A., Nair, M.N., Merok, K.J., Milkowski, A., Mohan, A., Pohlman, F., Ramanathan, R., Raines, C.R., Seyfert, M., Sørheim, O., Suman, S.P. & Weber, M., (2023) "American Meat Science Association Guidelines for Meat Color Measurement", *Meat and Muscle Biology* 6(4):12473, 1-81. doi: <https://doi.org/10.22175/mmb.12473>.
- Ladero, L., Cantero, V., Ramírez, M., & Cava, R. (2012). Efecto del tipo de almacenamiento sobre las características tecnológicas de hamburguesas de cerdo ibérico con distintos niveles de inclusión fibra de tomate. Calidad y tecnología de los alimentos. *Cerdo Ibérico*. 27(55-64).
- Latham M.C. (2002). Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Colección FAO: Alimentación y nutrición* N° 29. ISBN: 92-5-303818-7. Disponible en: <https://www.fao.org/4/w0073s/w0073s00.htm#Contents>. Acceso 23.11.2024.
- Lawrie, R. (2022). Lawrie's Meat Science. 9th edition. Editor Fidel Toldrá. ISBN: 9780323854085. Sawston, UK: Woodhead Publishing.
- Li, K.Y., & Torres, J.A. (1993). Water activity relationships for selected *mesophiles* and *psychrothops* at refrigeration temperature. *Journal of Food Protection* 56(7): 612-615. doi: 10.4315/0362-028X-56.7.612.
- López, L., Osorio, A., Vargas, N., Fuentes, V., Pachón, J., y Bejarano, Y. (2020). Evaluación de la emulsión en una proteína vegetal a base de orellanas (*Pleurotus pulmonarius*) y lenteja (*Lens culinaris*). *Sennova*. 5(1):43-52. doi.org/10.23850/23899573.2644
- Lucena-Cavalcante, I.H., Ferreira, L., Sousa-Miranda, J.M. & Geraldo-Martins, A.B. (2012). Physical and chemical characteristics of tropical and non-conventional fruits. *Food Industrial Processes – Methods and Equipment*. InTech. doi: 10.5772/30871.
- Luna-Esquivel, G., Alejo-Santiago, G., Ramírez-Guerrero, L., y Arévalo-Galarza, M.L. (2018). La yaca (*Artocarpus Heterophyllus Lam.*) un fruto de exportación. *Agro*

- Productividad*, 6(5):65-70.
- Mancini, R.A., y Hunt, M.C. (2005). Current research in meat color. *Meat Science*. 71(1):100-121.
- Martín-Mateos, M.J., León, L., Ortiz, A., Tejerina, D., Barraso, C., López-Parra, M.M., Curbelo, P. & García-Torres, S. (2023). Effects of the addition of pecan nuts on the nutritional properties and final quality of Merino Lamb Burgers. *Applied Sciences*, 13(11), 6860. <https://doi.org/10.3390/app13116860>.
- Mathias-Rettig, K., & Ah-Ken, K. (2014). El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Food and Technology Science. Agro Sur*. 42(2):1-10.
- Meilgaard, M., Civille, G.V., y Carr, B.T. (2007). Sensory evaluation techniques. CRC Press. Fourth edition. Boca Raton, FL., USA.
- Mendoza, E., García, M.L., Casas, C., & Selgas, M.D. (2001). Inulin as fat substitute in low fat, dry fermented sausages. *Meat Science*. 57(4):387-393. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(00\)00116-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(00)00116-9).
- Mendoza, I. (2023). Beneficios de una certificación Agroalimentaria. Global Standars. Acceso: 25.11.2024. <https://www.globalstd.com/blog/beneficios-de-una-certificacion-agroalimentaria-blog/>
- Monjaras-Tejeda, B. (2018). Desarrollo de hamburguesa vegana a base de hongo cremini (*Agaricus bisporus var. brunnescens*). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División Ciencia Animal.
- Montalvo-Navarro, C., Cumplido-Barbeitia, G., González-Rios, H., Montoya-Ballesteros, L.C., Pérez-Báez, A.J., Zamorano-García, L., & Valenzuela-Melendres, M. (2022). Uso de un diseño de mezclas para el desarrollo de hamburguesas de carne de bovino, con un perfil nutricional mejorado con harina de linaza, pulpa de mango y ciruela deshidratada. *Biotechnia*, 24(1):97-106.
- Nagai, N.F., Ranalli, N., & Silvina-Cecilia, A. (2019). Caracterización de *Undaria sp* e incorporación en hamburguesas de cerdo. Libro de trabajos completos CyTAL®-ALACCTA 2019: Parte I. Buenos Aires. Argentina: Edición para Asociación Argentina de Tecnólogos Alimentarios – AATA.

- Ocloo, F.C.K., Bansa, D., Boatín, R., Adom, T. & Agbemayor, W.S. (2010). Physico-chemical, functional and pasting characteristics of flour produced from jackfruits (*Artocarpus heterophyllus*) seeds. *Agriculture and Biology Journal of North America*. 1(5):903-908. DOI:10.5251/abjna.2010.1.5.903.908.
- Ospina-Meneses, S.M., Restrepo-Molina, D.A., y López-Vargas, J.H. (2011). Caracterización microbiológica y bromatológica de hamburguesas bajas en grasa con adición de fibra de banano verde integro. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 64(1):5993-6005.
- Ozvural, E.B., & Vural, H. (2008). Utilization of interesterified oil blends in the production of frankfurters. *Meat Science* 78(3):211-216. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.06.012>.
- Pérez-Báez, A.J. (2015). Predicción de la calidad y la resistencia térmica de *Escherichia coli* 0157:H7 en hamburguesas de res adicionadas con nuez, jamaica y sal. Tesis de maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Hermosillo, Sonora.
- Piña-Dumoulin, G., Quiroz, J., Ochoa, A., & Magaña-Lemus, S. (2010). Caracterización físico-química de frutas frescas de cultivos no tradicionales en Venezuela I la yaca. *Agronomía tropical*. 60(3): 35-42.
- Preciado-Saldaña, A.M., Ruiz-Canizales, J., Villegas-Ochoa, M.A., Domínguez-Ávila, J. A. & González-Aguilar, G. A. (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria. Un acercamiento a la economía circular. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 23(2):92-99. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81373798002>. Acceso: 27.11.2024.
- Ramírez-Navas, J.S. (2012). Análisis sensorial: Pruebas orientadas al consumidor. *ReCiTeIA*. 2(1):82-102. ISSN 2027-6850.
- Rathod, R.P., y Pathare, P.B. (2014). Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of ready-to-eat chicken curry. *Journal of Food Science and Technology*. 51(6):1189-1196.
- Rivera de Alba, J.A., & Flores Girón, E. (2022). La fibra dietética como ingrediente

- funcional en la formulación de productos cárnicos. *Tecnociencia Chihuahua*. 16(1):40-54. doi: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v16i1.892>.
- Sánchez-Zapata, E., Sayas, E., Pérez-Álvarez, J. & Fernández-López, J. (2011). Fiber enrichment of a dry fermented sausage using tiger nut milk co-products as fiber source. *Fleischwirtschaft*. 27(5):63-65.
- Santiago, J. (2024). Conciencia sobre la sostenibilidad está cambiando el comportamiento de los consumidores, revela estudio. *The Food Tech*. Disponible en: <https://thefoodtech.com/seguridad-alimentaria/conciencia-sobre-la-sostenibilidad-esta-cambiando-el-comportamiento-de-los-consumidores-revela-estudio/>. Acceso 25.11.2024.
- SIAP (2024). Cierre de la producción agrícola. Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Acceso: 23.11.2024.
- Stone, H., y Sidel, J.L. (2004). Sensory evaluation practices. Third Edition. Redwood City, California, USA: Tragon Corporation. ISBN:78-0-12-672690-9.
- Talens-Oliag, P. (2017). Caracterización de las propiedades mecánicas de alimentos mediante análisis de perfil de textura. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/83513>. 1-6.
- Troy, D.J. & Kerry, J.P. (2010). Consumer perception and the role of science in the meat industry. *Meat Science*. 86(1):214-226.
- Villalva-Peralta, V., Gama-Gálvez, M. de los Ángeles, Salmerón, B.G., Ramos, G.G., & Vargas-Sotomayor, N.A. (2023). Evaluación química, actividad antioxidante y cuantificación de flavonoides de la semilla y cáscara de yaca (*Artocarpus heterophyllus Lam*). *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1): 7348-7372. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4973.
- Wordu, G., & Eke-Ejiofor, J. (2020). Proximate, mineral and sensory properties of Hambusgers produced from beef and cashew apple pomace. *International Journal of Food Science and Nutrition*. 5(1):10-15.
- Youssef, M. y Barbut, S. (2010). Physicochemical effects of the lipid phase and protein

level on meat emulsion stability, texture and microstructure. *J. Food Sci*, 72(5):108-114. doi:10.1111/j.1750-3841.2009.01475.x.

Zimerman, M. (S.f). pH de la carne y factores que lo afectan. *Infocarne*. Disponible en: https://www.infocarne.com/bovino/ph_de_la_carne_y_factores_que_afectan.asp. Acceso: 24.11.2024.

9. ANEXOS

