



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

**EFFECTO DE LA ADICIÓN DE ARABINOXILANOS  
FERULADOS EN SALCHICHAS FRANKFURT Y JAMÓN  
TIPO YORK. CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE SU  
CALIDAD**

---

Por:

**Carlos Sampieri Jiménez**

TESIS APROBADA POR LA

COORDINACIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN  
ANIMAL

Como requisito parcial para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS**

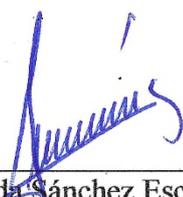
## APROBACIÓN Y FIRMAS

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Carlos Sampieri Jiménez la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias.



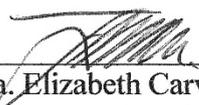
---

Dr. Gastón Ramón Torrescano Urrutia  
Director de Tesis



---

Dra. Armida Sánchez Escalante  
Integrante del comité



---

Dra. Elizabeth Carvajal Millán  
Integrante del comité



---

Dr. Rey David Vargas Sánchez  
Integrante del comité

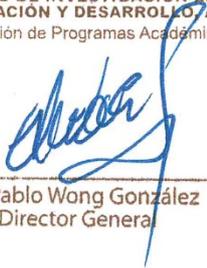
## DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis “Efecto de la Adición de Arabinoxilanos Ferulados en Salchichas Frankfurt y Jamón Tipo York. Caracterización y Evaluación de su Calidad” es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor Carlos Sampieri Jiménez, siempre y cuando se dé crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita de quien ocupe la titularidad de la Dirección General del CIAD.

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



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

  
Dr. Pablo Wong González  
Director General

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al CONACYT por el apoyo prestado durante todo el posgrado y al CIAD por aceptarme, recibirme y darme todas las facilidades para la realización de este posgrado. Así mismo quiero agradecer a toda la estructura administrativa, de servicios y académica del CIAD por impulsarme y apoyarme todo el tiempo que tuve el privilegio de participar de este programa de maestría.

Quiero agradecer al Doctor Gastón Ramón Torrescano Urrutia y la Doctora Armida Sánchez Escalante por aceptarme en su grupo de trabajo, por enseñarme todas las cosas que nos apasionan y hacerme cambiar mi visión del mundo y la ciencia. Así mismo por hacerme partícipe de sus proyectos y lograr con ello la finalización de esta tesis.

Quiero agradecer a mis asesores, la Doctora Elizabeth Carvajal Millán y el Doctor Rey David Vargas Sánchez por su apoyo, consejo, guía y por proveerme del material. Estas acciones fueron invaluable para la realización de esta tesis.

Quiero agradecer especialmente a la Doctora Osiris Álvarez Bajo, al Doctor Jaime Lizardi Mendoza y a la maestra Karla Martínez Robinson por apoyarme tanto con sus conocimientos en clase y fuera de clase, el uso de sus laboratorios y equipos y por ayudarme con algunas técnicas y la obtención de los arabinosidos para el desarrollo de esta tesis.

Quiero agradecer a los profesores que me impartieron clases durante mi estadía en CIAD, la Dra. Susana Scheuren Acevedo, el Mtro. Jesús Durán Pinzón, el Dr. Martín Valenzuela Melendrez, la Dr. Etna Aida Peña Ramos, el Dr. Humberto González Ríos, el Dr. Fernando Ayala Zavala, el Dr. Marcel Martínez Porchas, el Dr. Miguel Ángel Mazorra Manzano, el Dr. Juan Carlos Ramírez Suárez, la Mtra. María Elena Lugo Sánchez, la Mtra. Guillermina García Sánchez, el Dr. Juan Pedro Camou Arriola, el Mtro. Luis Enrique González Siqueiros y a todos los doctores que formaron parte del grupo académico de los seminarios de tesis.

Quiero agradecer también a mis compañeros del CIAD, Cristina Acuña Gallardo, Alejandro Felician Vega, María de los Ángeles de la Rosa Alcaraz, Brisa del Mar Torres Martínez, Sergio Daniel Carrillo Alvarado y Jaime Noé Sánchez Pérez por su apoyo, trabajo, amistad, compañerismo y convivencia que fueron fundamentales en el desarrollo de los experimentos, durante toda mi estadía en los laboratorios, aulas de clase y el cubículo.

## DEDICATORIA

Quiero agradecer a Dios por permitirme vivir, tener salud y poder llegar a la culminación de esta importante etapa de mi vida. Sin la fe y la esperanza que me ha conferido no hubiera podido llevar a cabo todo este proceso.

Quiero dedicar esta tesis y agradecerle a mi papá, el Mtro. Lucio Victorio Sampieri Gasperín, por darme la vida, amor, cariño y enseñarme durante todo el tiempo que tuve el privilegio de estar con él a ser un hombre inteligente, honesto, culto, recto, curioso y educado, así como él siempre se desarrolló durante toda su vida. Siempre fuiste la luz que guio mi vida y me siento tan orgulloso de ti y de haber sido tu hijo. Tengo la seguridad de que estarías muy orgulloso de mí. Te amo papá.

Quiero agradecer a mi mamá, Clementina Jiménez Moreno por darme la vida y estar conmigo. Te amo mamá.

Quiero agradecer y dedicar ésta tesis a mi esposa Lizbeth Donaciano Baruch por su amor, cariño, paciencia, apoyo y comprensión durante todos estos años que hemos pasado juntos y además la confianza y soporte que me dio para venir a estudiar aquí la maestría. Toda su compañía y cariño resultaron fundamentales para la realización de esta maestría. Te amo y este logro también es tuyo.

Quiero agradecer y dedicar esta tesis a mis hermanos Clara Luz Sampieri Ramírez y Lucio Sampieri Jiménez, por su amor, cariño, su invaluable apoyo moral, conocimientos, deseos de superación y comprensión. Aunque estemos lejos, siempre los llevo dentro mi corazón y mis pensamientos. Sé que para ellos este momento también los colma de orgullo y satisfacción y que me tienen siempre los mejores deseos, así como yo para ellos. Los amo y este logro también es de ustedes.

## CONTENIDO

<b>APROBACIÓN Y FIRMAS</b> .....	2
<b>DECLARACIÓN INSTITUCIONAL</b> .....	3
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	4
<b>DEDICATORIA</b> .....	5
<b>CONTENIDO</b> .....	6
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	8
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	9
<b>RESUMEN</b> .....	10
<b>ABSTRACT</b> .....	11
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	14
2.1 Producción de Cereales y su Industrialización .....	14
2.1.1 Arabinosilanos Ferulados (AX) como Componentes de Residuos Agroindustriales de Cereales. ....	14
2.1.2 Obtención de AX de Cereales .....	16
2.1.3 Propiedades Funcionales, Tecnológicas y Nutracéuticas de los AX.....	18
2.1.4 Utilización de AX en la Industria Alimentaria. Aprovechamiento Industrial de las Propiedades Gelificantes de los AX.....	20
2.2 Polímeros Gelificantes Utilizados en Productos Cárnicos y sus Características .....	22
2.2.1 Gelificantes a Base de Polisacáridos .....	22
2.3 Producción y Estructura de la Carne y Productos Cárnicos.....	25
2.3.1 Estructura de la Matriz Cárnica en Productos Emulsionados y Enteros.....	27
2.3.1.1 Composición nutricional y bioquímica de la matriz cárnica de cerdo y res...28	
2.3.2 Desarrollo de Productos Cárnicos de Cerdo y Res (Jamón y Salchichas).....	29
2.3.2.1 Aditivos usados en la fabricación de productos cárnicos de cerdo (jamón York y salchichas Frankfurt).....	31
2.3.2.2 Control de calidad y criterios de elegibilidad de productos cárnicos.....	33
2.3.2.3 Características sensoriales de los productos cárnicos: sabor, aroma, jugosidad, palatabilidad, ternura y color. ....	35
2.3.2.4 Control de calidad en productos cárnicos terminados.....	37
2.3.2.5 Evaluación de los productos cárnicos por los consumidores.....	37
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	39
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	40
4.1 Objetivo General.....	40
4.2 Objetivos Específicos.....	40
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	41
5.1 Desarrollo de Formulaciones de Jamón Tipo York y Salchichas Frankfurt .....	41
5.2 Formulación de Jamón Tipo York y Salchichas Frankfurt .....	41
5.3 Análisis de Calidad .....	47
5.3.1 Análisis Químico Proximal.....	47
5.3.2 Análisis Físicoquímicos .....	48
5.3.2.1 Análisis de pH.....	48

## CONTENIDO (continuación)

5.3.2.2	Análisis de determinación de capacidad de retención de agua (CRA).....	48
5.3.2.3	Análisis de relaxometría T2(1) y T2(2).....	48
5.3.2.4	Evaluación de esfuerzo al corte (Warner-Bratzler) y perfil de textura (APT).....	49
5.3.3	Evaluación de Color en el Espacio CIELAB .....	51
5.3.4	Análisis Estadístico.....	52
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>53</b>
6.1	Composición Química Proximal del Jamón tipo York .....	53
6.2	Propiedades Fisicoquímicas del Jamón Tipo York.....	59
6.3	Análisis de Perfil de Textura (APT) del Jamón Tipo York.....	62
6.4	Evaluación de Color del Jamón Tipo York .....	65
6.5	Composición Química Proximal de las Salchichas Frankfurt .....	69
6.6	Propiedades Fisicoquímicas de las Salchichas Frankfurt.....	73
6.7	Análisis de Perfil de Textura (APT) de las Salchichas Frankfurt.....	76
6.8	Evaluación de Textura de las Salchichas Frankfurt por Warner-Bratzler.....	78
6.9	Evaluación de Color de las Salchichas Frankfurt .....	79
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>83</b>
<b>8.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>85</b>
<b>9.</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>87</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Estructura de los AX.....	15
2	Formación de geles con arabinosilanos ferulados.....	21
3	Estructura de las fracciones de carragenina kappa, iota y lambda.....	23
4	Estructura del músculo esquelético.....	27
5	Diagrama de flujo de producción de jamón tipo York.....	44
6	Diagrama de flujo de producción de salchichas Frankfurt.....	46
7	Espectrómetro de resonancia magnética nuclear.....	49
8	Tubos de resonancia magnética nuclear con muestras.....	49
9	Texturómetro con sonda para perfil de textura (APT).....	51
10	Gráfica general del análisis de perfil de textura (APT).....	51
11	Jamones sin cocinar.....	54
12	Jamones cocinados.....	54
13	Cortes transversales de los jamones tipo York.....	54
14	Salchichas sin cocinar.....	69
15	Salchichas cocinadas.....	69

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Productos cárnicos adicionados con fibra dietética.....	24
2	Especificaciones técnicas para jamón .....	33
3	Atributos que definen las características de la calidad de los productos cárnicos.....	34
4	Formulación de la salmuera para la preparación de jamones.....	42
5	Formulación de salchichas Frankfurt.....	42
6	Composición química proximal de jamón tipo York adicionado con AX.	55
7	Propiedades fisicoquímicas de jamón tipo York adicionado con AX.....	59
8	Análisis de perfil de textura de jamón tipo York adicionado con AX.....	63
9	Análisis del color de jamón tipo York adicionado con AX.....	66
10	Composición química proximal de salchichas Frankfurt adicionadas con AX.....	70
11	Propiedades fisicoquímicas de salchichas Frankfurt adicionadas con AX	73
12	Análisis de perfil de textura de salchichas Frankfurt adicionadas con AX	76
13	Análisis Warner-Bratzler de salchichas Frankfurt adicionadas con AX...	79
14	Evaluación de color de salchichas Frankfurt adicionadas con AX.....	80

## RESUMEN

La industria de cereales produce grandes cantidades de residuos en la transformación del trigo y maíz; estos residuos en su composición contienen gelificantes como los arabinosilanos ferulados (AX), los cuales han sido desaprovechados. Los AX son polisacáridos no amiláceos con residuos de ácido ferúlico que pueden formar geles covalentes resistentes a cambios de pH, temperatura y fuerza iónica y geles por interacciones físicas; propiedades que pueden ser aprovechadas para su uso como aditivo alimentario. Por otro lado, la industria cárnica utiliza gelificantes como las carrageninas (CAR) en la elaboración de embutidos como salchichas y jamones, para mejorar la textura, aumentar la retención de humedad y reducir costos; sin embargo, no hay estudios que utilicen AX como aditivos. Por esto, el objetivo de este estudio fue evaluar los AX como extensores en jamón tipo York y salchichas Frankfurt, determinar sus características fisicoquímicas: composición química proximal, capacidad de retención de agua (CRA), pH, color, esfuerzo al corte (Warner-Bratzler) y análisis de perfil de textura (APT), y compararlos con los elaborados con CAR y productos comerciales. Las formulaciones se desarrollaron siguiendo las normas “NOM-158-SCFI-2003” y “NMX-F-065-1984”, por lo que se evaluaron cuatro tratamientos: control, CAR (1%), AX (1%) y uno comercial. Todos los productos cumplieron con las características para jamón fino. El jamón AX tuvo diferente pH (6.52), mayor contenido de humedad (75.73%), menor proteína (16.06%) y mayor relación humedad-proteína (4.67) comparándolo con el elaborado con CAR ( $p < 0.05$ ). Respecto al APT, el jamón AX no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en dureza, cohesividad, gomosidad y masticabilidad, en comparación con el adicionado con el CAR y el comercial. Respecto a las salchichas, todos cumplieron con las características para ser denominadas Frankfurt. Las salchichas AX no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en porcentaje de humedad, proteína y grasa respecto a las salchichas CAR (63.25–62.93%, 14.12–14.63% y 11.96–11.52%, respectivamente), pero si ( $p < 0.05$ ) con respecto al control y al comercial (60.21–67.45%, 15.64–9.64% y 12.01–9.93%, respectivamente). La CRA de las salchichas AX y CAR no mostraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) al día 0 y 9 (25.60–19.67% y 26.43–19.53%, respectivamente). Los resultados de textura (Warner-Bratzler) y color de las salchichas AX al día 0 y 9 mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto a las formuladas con CAR. De acuerdo a los resultados muestran que es posible desarrollar formulaciones de jamones y salchichas utilizando AX, con características similares a las que fueron adicionadas con CAR.

**Palabras clave:** jamón, salchichas, arabinosilanos, carragenina, residuos agroindustriales.

## ABSTRACT

The cereal industry produces large amounts of waste in wheat and corn processing; these residues in their composition contain gelling agents such as feruloylated arabinoxylans (AX), which are not used and have been wasted. AX are non-starchy polysaccharides with ferulic acid residues that can form covalent gels that are resistant to changes in pH, temperature and ionic strength and gels by physical interactions like hydrogen bonds; properties that can be exploited for the use as a food additive. On the other hand, the meat industry uses to development their products gelling agents such as carrageenans (CAR) in the preparation of frankfurters sausages and hams, to improve texture, increase moisture retention and reduce costs; however, there are no studies that use AX as additives in food products. For this reason, the objective of this study was to evaluate AX as extenders in York-type ham and frankfurter sausages, to determine their physicochemical characteristics: proximal chemical composition, water-holding capacity (WHC), pH, color, shear force (Warner-Bratzler) and texture profile analysis (TPA), and compare them with those made with CAR and commercial products. The formulations were developed following the standards “NOM-158-SCFI-2003” and “NMX-F-065-1984”, so four treatments were evaluated: control, CAR (1%), AX (1%) and one commercial. All products analyzed presented characteristics to be called fine ham. The AX ham had different pH (6.52), higher moisture content (75.73%), lower protein (16.06%) and higher moisture-protein ratio (4.67) compared to that made with CAR ( $p < 0.05$ ). Regarding the APT, the AX ham did not show significant differences ( $p > 0.05$ ) in hardness, cohesiveness, gumminess and chewiness, compared to that added with CAR and commercial. Concerning sausages, all met the characteristics to be call frankfurter sausages. The AX sausages did not show significant differences ( $p > 0.05$ ) in percentage of moisture, protein and fat compared to CAR sausages (63.25–62.93%, 14.12–14.63% and 11.96–11.52%, respectively), but yes ( $p < 0.05$ ) with respect to control and commercial (60.21–67.45%, 15.64–9.64% and 12.01–9.93%, respectively). The CRA of the AX and CAR sausages showed no significant differences ( $p > 0.05$ ) at day 0 and 9 (25.60-19.67% and 26.43-19.53%, respectively). The shear force (Warner-Bratzler) and color results of the AX sausages at day 0 and 9 showed significant differences ( $p < 0.05$ ) with respect to those formulated with CAR. According to the results they show that it is possible to develop formulations of hams and sausages using AX with characteristics similar to those that were added with CAR.

**Keywords:** ham, sausages, arabinoxylans, carrageenan, agro-industrial waste.

## 1. INTRODUCCIÓN

Según la FAO, en (2017) a nivel mundial se produjeron 771'718,579 ton de trigo y 1'134,746,667 ton de maíz, destinados tanto para el consumo humano como para la crianza de animales. En la transformación industrial de estos cereales se producen residuos como el germen y el endospermo (salvado) en proporciones del 25% para el trigo y 22% para el maíz (FAO, 2017). Estos residuos agroindustriales en su composición contienen: agua, grasas y polisacáridos que pueden tener características gelificantes, los cuales podrían ser utilizados de distintas formas y así generar productos con un alto valor biológico y adicionalmente eliminar un problema ecológico (Barrón, 2016). Una de las opciones que se presentan puede ser la industria cárnica, en la cual el uso de aditivos gelificantes como gomas y carragenatos es muy importante para el mejoramiento de los productos y la reducción de costos. Las gomas usadas en la elaboración de productos cárnicos como jamones, presentan funciones como agentes mejoradores de la textura, retenedores de humedad y estabilizantes (Molina *et al.*, 2010). Así mismo, los carragenatos procedentes de algas rojas, son polisacáridos que se usan por su efecto estabilizante y porque gelifican reteniendo gran cantidad de agua durante la formación de coloides (Freixanet, 2010).

Entre los polisacáridos presentes en los residuos de cereales, se encuentran los arabinosilanos ferulados (AX), los cuales son polisacáridos neutros no amiláceos que se obtienen del endospermo y el pericarpio de cereales como trigo, centeno, cebada, maíz y arroz (Rattan *et al.*, 1994; Izydorczyk y Biliaderis, 1995; Vansteenkiste *et al.*, 2004; Carvajal-Millán *et al.*, 2005a, 2007). Según el INEGI en 2017, en México se produjeron 3'214,047 ton de grano de trigo y 23'142,203 ton de grano de maíz blanco, representando dos de los productos agrícolas de mayor producción nacional. Por otro lado, se ha señalado que en México la industria de los cereales genera una cantidad importante de residuos, entre estos 91,000 ton y 31,500 ton de pericarpio de maíz y trigo, respectivamente (Niño-Medina *et al.*, 2010). Debido a la poca utilidad comercial que tienen estos residuos de cereales, en la mayoría de los casos estos se desechan, provocando pérdidas económicas a dicha industria y de contaminación al medio ambiente. Sin embargo, estos residuos podrían utilizarse para obtener productos de valor agregado y de importancia económica para la industria cárnica.

Los AX obtenidos a partir de cereales tienen propiedades nutraceuticas y gelificantes que pueden aprovecharse en la producción de alimentos. Algunos estudios reportan que al incluir los AX en la dieta humana, ayudan a prevenir enfermedades como diabetes tipo 2, cáncer

intestinal, enfermedades cardiovasculares; así mismo estimulan el crecimiento de bacterias probióticas (Izydorczyk *et al.*, 2007); además de que intervienen en la absorción de colesterol y reabsorción de ácidos biliares (Sánchez, 2012). Además, se ha reportado que los AX forman geles covalentes resistentes a cambios de pH, temperatura y fuerza iónica, propiedades que aumentan el potencial para ser aplicados en la industria alimentaria (Morales-Ortega *et al.*, 2013). Recientemente se ha reportado que pueden impartir propiedades tecnológicas a los productos de panadería, incrementando la capacidad de unir agua, la estabilidad de la burbuja, modificando la textura y aumentando la vida de anaquel (Döring *et al.*, 2016). Además, tienen influencia en la consistencia de la masa, la retención de burbujas y la apariencia final de los productos horneados (Sánchez, 2012).

Actualmente, existen varios procesos para la extracción de los AX del pericarpio de cereales, como es la utilización de medios alcalinos, aunque esta técnica puede romper algunos grupos funcionales como el ácido ferúlico (AF) (Barrón, 2016) o por extracción acuosa o alcalina, ya sea usando el grano del cereal completo o tejidos específicos del mismo (Morales-Ortega *et al.*, 2013). Otra forma de llevar a cabo la extracción es a través de procesos enzimáticos; sin embargo, este es un proceso muy costoso (Barrón, 2016). Los AX obtenidos de residuos de cereales como agentes gelificantes no han sido utilizados en el desarrollo de productos cárnicos, pudiendo sustituir a los carragenatos, que tradicionalmente son empleados en la formulación de estos productos. Por lo que, el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar las características de los AX y su capacidad funcional para ser aplicados en la fabricación de embutidos emulsionados y enteros.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Producción de Cereales y su Industrialización

#### 2.1.1 Arabinosilanos Ferulados (AX) como Componentes de Residuos Agroindustriales de Cereales

El maíz (*Zea mays*) y el trigo (*Triticum aestivum*) son de los cereales que más se cultivan a nivel mundial, los cuales son ampliamente utilizados para el consumo humano y para la alimentación de ganado. Los granos de trigo se componen básicamente de tres fracciones: fibra (pericarpio), germen y endospermo (Onipe *et al.*, 2015). Según Serna-Saldívar (2013), el grano del maíz se compone de cuatro partes principales: pericarpio, endospermo, germen y pedicelo. Los granos de maíz se conocen como cariósipide, que son bayas que tienen la cáscara fusionada con la semilla, formando un solo grano, el cual se encuentra unido al olote a través del pedicelo (Gaytán-Martínez, 2011). Según el INEGI (2017), en México se produjeron 23.1 millones de ton de maíz y 3.2 millones de ton de trigo. Estos cultivos son sometidos a procesos de industrialización para su consumo, durante los cuales se producen residuos agroindustriales en proporciones de 22% para el maíz y 25% para el trigo (FAO, 2017). Los residuos de maíz tienen en su composición una alta concentración de xilanos, que son de interés para su utilización en la producción de arabinosilanos ferulados (AX) los cuales tienen capacidad antioxidante (Barrón, 2016).

La estructura del grano de maíz se compone del pericarpio, que es la capa exterior de las semillas, representa entre el 5–6% del peso total del grano y se compone de capas celulares de pared gruesa, alargada y endurecida, las cuales forman un tejido duro que sirve de protección contra agentes bióticos externos (Serna-Saldívar, 2013). Otro de los componentes de los granos de maíz es el endospermo, el cual representa la mayor proporción del grano, siendo entre el 80–85% del peso y aproximadamente el 86.4% está conformado por almidón. Además del almidón, en el endospermo se encuentra el 75% de las proteínas (mayormente zeínas), las cuales son insolubles en agua y confieren dureza al endospermo (Gaytán-Martínez, 2011). Además, también se encuentra el germen, el cual constituye 10–12% del peso de los granos y sirve de almacén de proteínas, grasa, azúcares solubles y otros nutrientes (Serna-Saldívar, 2013).

Finalmente se encuentra el pedicelo, el cual es un tipo de tejido que tiene la función de unir el grano al olote y representa el 0.5% del peso total del grano (Gaytán-Martínez, 2011). En las paredes celulares primarias de las gramíneas los AX se encuentran covalentemente unidos con otros AX o con moléculas de celulosa, a través de puentes fenólicos, esto contribuye al ensamblaje, promoviendo la cohesión y resistencia de las paredes (Barrón, 2016).

El pericarpio es la parte del grano donde se encuentran los AX, que son los principales carbohidratos complejos no amiláceos encontrados en la pared celular de cereales (Niño-Medina *et al.*, 2010). Los AX son valiosos y de alto costo, por lo cual el pericarpio de maíz puede ser una buena fuente de obtención disponible y barata (Barrón, 2016). En los últimos años, la investigación acerca de los AX ha tenido gran atención debido a que se ha evidenciado que pueden presentar importantes funciones tecnológicas, funcionales y fisiológicas (Ciudad-Mulero, 2017). Los AX se encuentran conformados por una cadena lineal de xilopiranosas unidas con enlace  $\beta$ -D-(1,4) y sustituidas en los grupos hidroxilo de los carbonos 2 y 3 con moléculas de L-arabinofuranosil unidas a través de enlaces glucosídicos  $\beta$ -(1,4) (Ciudad-Mulero *et al.*, 2017). Roets (2009) señala que los AX están conformados por una cadena principal de residuos de  $\beta$ -D-xilanopiranosil unidos con enlaces  $\beta$ -D-(1,4). (Figura 1). Estas arabinosas pueden contar con residuos de ácido ferúlico (AF) en la posición 5 (Broekaert *et al.*, 2011; Lafiandra *et al.*, 2014). La capacidad antioxidante que se atribuye a los AX se debe a que algunos de los residuos de arabinosa se encuentra unidos por un enlace éster con ácido ferúlico (ácido 3-metoxi-4-hidroxicinámico) en posición (0)-5, por lo cual generalmente a los AX se les llama arabinoxilanos ferulados (Smith *et al.*, 1983).

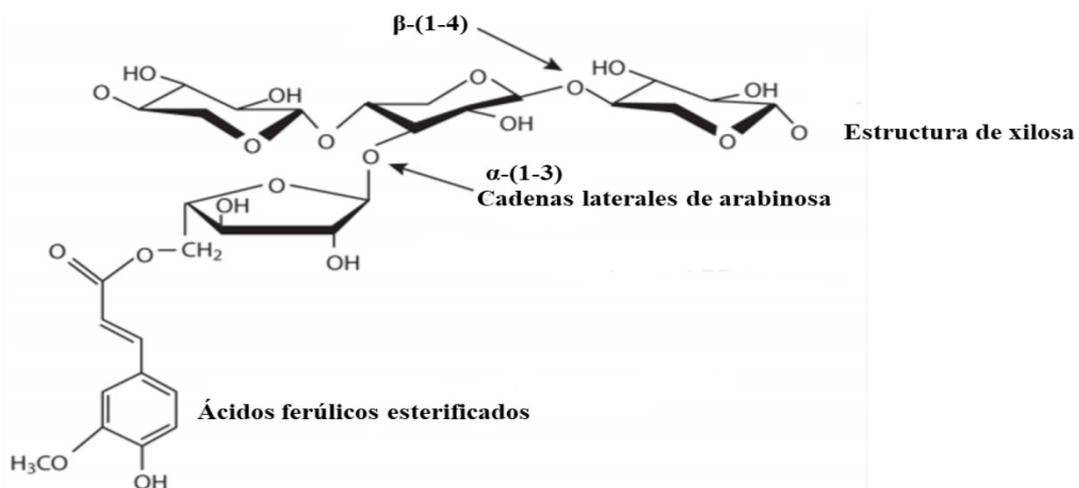


Figura 1. Estructura de los AX (Morales-Ortega *et al.*, 2013).

Los AX son los principales polisacáridos no amiláceos de los cereales, conforman aproximadamente un 60–65% del peso y se encuentran en las paredes celulares (Morales-Ortega *et al.*, 2013). En el pericarpio están presentes en 23–32% y en el endospermo en 2–4% (Ramseyer *et al.*, 2011). Los AX pueden ser solubles (WEAX) y no solubles en agua (WUAX). Los WEAX se extraen a temperatura ambiente, mientras que los WUAX para ser extraídos necesitan de un tratamiento alcalino (Morales-Ortega *et al.*, 2013). Los WEAX generalmente se ubican en el endospermo de los granos de cereales, y los WUAX se pueden ubicar además en la capa externa del pericarpio. La proporción de AX en los tejidos vegetales varía según la solubilidad, las condiciones medioambientales y las etapas de madurez de los granos. Por lo regular, la cantidad de WEAX es inferior (0.5–3.0%, p/p) en el endospermo del trigo, centeno y/o cebada que la de WUAX (20–30% p/p) en el pericarpio de esos mismos granos (Izydorczyk *et al.*, 2007). No obstante, otra tecnología emergente que está siendo usada con éxito en la industria de alimentos con éxito es la cavitación hidrodinámica (HC), que es un método físico de extracción que ayuda en la separación del almidón y las proteínas extraídas a partir de hemicelulosa (Barrón, 2016).

### **2.1.2 Obtención de AX de Cereales**

La producción de fibra de trigo (pericarpio) para consumo humano es estimada en aproximadamente 90 millones de ton por año (Onipe *et al.*, 2015). En México, las empresas fabricantes de harina de maíz nixtamalizado, como Maseca y Minsa, generan cada año enormes cantidades de pericarpio de maíz (de 20,000–46,000 ton cada una) y “nejayote” (3–6.9 millones de litros cada una). El nejayote es el residuo acuoso obtenido durante el proceso de nixtamalización del maíz que se usa masa y tortillas, se denota como un agente muy contaminante, por las condiciones de su disposición (pH 10–14, temperatura 60–80 °C, DBO 7,000–10,000 mg O<sub>2</sub>/lt), generando entre 16 y 22 millones de hl al año (Guerrero, 2016). De igual manera, las empresas productoras de harina de trigo (Molino La Fama y Molino El Globo), producen pericarpio de trigo a razón de 15,750 ton anuales cada una, teniendo un rendimiento de AX de 1.37% en harina de trigo y un 29.86% en salvado de maíz (Niño-Medina *et al.*, 2010b). Dichos residuos agroindustriales están constituidos entre otros componentes por AX, que mediante una extracción se les podría dar un uso alterno y un valor agregado, debido a que este carbohidrato podría utilizarse en alimentos para conferirles textura, como agente para

formar emulsiones o para encapsular (Morales-Ortega *et al.*, 2013).

La extracción de AX como se expuso anteriormente, se puede llevar a cabo por extracción acuosa o alcalina, utilizando los granos completos del cereal o de ciertas partes específicas de los mismos. A través de una extracción con agua se obtienen los WEAX principalmente a partir de harina de trigo, con la cual se puede lograr un rendimiento de 0.5 a 6% (Morales-Ortega *et al.*, 2013). En el pericarpio del trigo, los AX se encuentran formando entrecruzamientos físicos y covalentes con otros componentes de la pared celular, por lo tanto, se encuentran en una estructura que no es soluble en agua. Como se mencionó, la extracción de los AX del pericarpio se realiza mediante un tratamiento básico (utilizando soluciones de hidróxido de sodio o de calcio 0.5 M y 1.0 M, respectivamente); con este tratamiento los WUAX se separan de los otros constituyentes de la pared celular para posteriormente ser hidrolizados y modificados en cadenas más cortas y lograr así su solubilidad en agua. Una vez que son extraídos, son purificados mediante el uso de proteasas y amilasas, las cuales eliminan los restos de proteína y almidón que aún pudieran estar presentes (Autio, 2006; Izydorczyk *et al.*, 2007).

Los AX se pueden extraer del pericarpio de trigo según la metodología propuesta por Carvajal Millán, *et al.* (2005b), procedimiento que se realiza de acuerdo a lo siguiente:

1. Moler la fibra de trigo hasta obtener partículas de 0.84 mm.
2. Suspender 500 g de fibra en etanol (2,500 mL) en un agitador por 12 h a 25 °C.
3. Filtrar la fibra con un filtro Milipore de 2.7  $\mu\text{m}$  y someterla a ebullición por 30 min con 3,500 mL de agua.
4. Volver a filtrar a través del filtro Milipore de 2.7  $\mu\text{m}$  y tratar con 2,500 mL de solución de NaOH 0.5 N a 25 °C en oscuridad por 8 h y con agitación a 100 rpm.
5. Eliminar los sólidos residuales por filtración con filtro Milipore de 2.7  $\mu\text{m}$ ., después centrifugar a 12,096  $\times$  g a 20 °C por 15 min Acidificar el sobrenadante a pH 4 con solución de HCl 3 N.
6. Volver a centrifugar en las mismas condiciones, recuperar el sobrenadante y precipitarlo en etanol al 65% (v/v) por 4 h a 4 °C.
7. Recuperar el precipitado y secarlo por intercambio de solventes (etanol, etanol absoluto y acetona al 80% (v/v)).

Posterior a la extracción, existen diferentes métodos analíticos para la detección y cuantificación de los AX que son comúnmente utilizados. Con los resultados de estos análisis se obtiene información acerca de la estructura y la composición de los AX y de esta forma,

proporcionar conocimientos acerca de sus características de solubilidad y tamaño molecular, entre otras. El método a utilizar, generalmente se basa en la hidrólisis enzimática de los AX en arabinosa y xilosa combinado con HPAEC (Cromatografía de intercambio aniónico de alto rendimiento) (Döring *et al.*, 2016). También se ha encontrado que con la huella que presentan los AX al análisis con el espectro FT-IR es posible evaluar la proporción relativa de los polímeros, y exhibe la variación en sus grados de sustitución en mezclas complejas como las paredes celulares de los granos de cereales (Robert *et al.*, 2005). Adicionalmente, estos mismos autores indican que para caracterizar los AX extraídos se preparan películas con una solución de 3 mL de agua destilada y desionizada con un 2% de AX, la cual se deja a 40 °C en una placa Petri de 35 mm por 24 horas, para después monitorear los espectros en el FT-IR y compararse con patrones de referencia.

### **2.1.3 Propiedades Funcionales, Tecnológicas y Nutraceuticas de los AX**

En los últimos años, el consumo de fibra dietética tanto soluble como insoluble ha adquirido mucha importancia e interés en las dietas de la población. La fibra dietética es definida como la parte de la dieta que no es digerida por las enzimas del estómago y el intestino delgado, llegando al intestino grueso sin cambios, la cual es producida por las plantas cumpliendo funciones estructurales, de protección y defensa, entre otras (Fox, 2008). El pericarpio de trigo es una fuente barata y abundante de fibra dietética, la cual se ha utilizado para mejorar la salud del intestino y asociada con la posible prevención de algunas enfermedades como el cáncer de colon (Onipe *et al.*, 2015). De acuerdo a lo anterior, los AX representan una porción significativa del consumo de fibra dietética de los humanos, ofreciendo beneficios nutricionales como fibra soluble e insoluble (Niño-Medina *et al.*, 2010a). Entre los efectos más relevantes que los AX pueden desempeñar en el ser humano está su efecto prebiótico, que aunado a su capacidad antioxidante, pueden servir para mejorar la salud del consumidor. Así mismo, se ha señalado que pueden ser considerados como agentes de prevención frente al cáncer de colon. Metabólicamente, los AX se han descrito como reguladores de glucosa y colesterol sanguíneos, así como agentes inmunomoduladores (Ciudad-Mulero, 2017).

La presencia del AF en la composición de los AX, le confiere propiedades antioxidantes, esto debido a que posee la capacidad única de formar geles covalentes en presencia de agentes generadores de radicales libres (Niño-Medina *et al.*, 2010a). Los ácidos fenólicos, en especial

los derivados del ácido ferúlico (DAF), están ligados por enlaces éster en proporciones importantes a la fibra de estos vegetales (Rodríguez *et al.*, 2005). En plantas monocotiledóneas como los cereales, los glucuronoarabinoxilanos son los que se encuentran con estos enlaces, mientras que plantas dicotiledóneas serían los polisacáridos pécticos (Smith *et al.*, 2001). La presencia de estos DAF unidos es de gran interés debido a que estos son los que aportan la capacidad antioxidante de la fibra a la que se encuentran unidos (Rodríguez *et al.*, 2005). Investigaciones realizadas por Wende *et al.* (1997) e Itagaki *et al.* (2009), muestran que los DAF llegan a la parte alta del intestino grueso y se pueden liberar debido a la acción de las esterasas con las que cuenta la microbiota, de esta manera quedan a disposición para que puedan absorberse por las microvellosidades intestinales, o para que ejerzan su capacidad antioxidante en la mucosa.

El carácter prebiótico de los AX ha atraído gran interés en la nutrición, la investigación científica y la tecnología de alimentos para sus aplicaciones en alimentos o como aditivo (Aguedo *et al.*, 2014). Los AX se consideran prebióticos cumpliendo los criterios establecidos por Gibson-Roberfroid (1995), demostrando que los AX son capaces de resistir la acidez estomacal, la hidrólisis enzimática y la absorción intestinal. En una investigación realizada por Van Craeyveld (2009) se demostró que bajo condiciones estomacales *in vitro* (pH 2 a 37 °C) la tolerancia de los AX es alta, y que estos pueden ser fermentados por la microbiota intestinal.

Cuando los AX llegan al intestino son fermentados y los fenoles que contienen pueden ser absorbidos y/o desarrollar su potencial antioxidante sobre la mucosa. Por lo anterior, las fibras con estas características son importantes, debido a que funcionan como vehículo de otras moléculas benéficas hacia la parte más distal del intestino (Rodríguez *et al.*, 2005). También se ha demostrado que los AX inducen específicamente la actividad y/o crecimiento de algunas bacterias intestinales benéficas para la salud como *Lactobacillus cellobiosus*, *Lactobacillus paracasei* y otras especies de *Bifidobacterium*; evitando incitar el desarrollo de otras como enterococos, *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli* o *Clostridium difficile* (Neyrink *et al.*, 2011, Grootaert *et al.*, 2007, Van Craeyveld, 2009).

Respecto al efecto de los AX en el metabolismo de lípidos y glucosa, se ha reportado que los xilo-oligosacáridos (XOS) y los arabino-oligosacáridos (AXOS) que son derivados de la hidrólisis enzimática de los AX han podido reducir los niveles sanguíneos de colesterol y triglicéridos (Grooetaert *et al.*, 2007; Neyrink *et al.*, 2011). Por otro lado, en relación al control de la glucosa sanguínea, hay estudios que han asociado la ingesta de AX con una disminución importante del nivel de glucosa postprandial, de glucosa plasmática preprandial y de la intolerancia a la glucosa (Neyrink *et al.*, 2011; Lu *et al.*, 2004). Los estudios anteriormente

señalados muestran los beneficios que pueden aportar por los AX en la capacidad funcional y nutracéutica de los alimentos que los contengan o en los cuales se adicionen.

#### **2.1.4 Utilización de AX en la Industria Alimentaria. Aprovechamiento Industrial de las Propiedades Gelificantes de los AX**

Los AX son capaces de formar soluciones altamente viscosas y poseen la capacidad de producir geles bajo la acción de ciertos agentes oxidativos como lacasa/ $O_2$  (Niño-Medina *et al.*, 2010). Investigaciones realizadas por Fausch *et al.* (1963) demostraron que la esterificación del AF de los AX está involucrada en la gelificación oxidativa. La desaparición del AF y la formación de sus dímeros (di-AF) y trímeros (tri-AF) en la etapa inicial de la gelificación, demuestra el rol central de este ácido en el proceso (Izydorczyk *et al.*, 1991; Carvajal Millán *et al.*, 2005b). Por otro lado, Carvajal-Millán *et al.* (2005b, c) reportaron que la densidad de entrecruzamiento en geles de los AX, determinada por experimentos de hinchamiento, es mayor que la calculada teóricamente por la cantidad de di-AF y tri-AF, lo cual sugiere que al añadir entrecruzantes covalentes, ocurren además uniones no covalentes (puentes de H) entre las cadenas de los AX, que contribuyen a la estabilidad del gel. Estas investigaciones ponen de manifiesto la posibilidad de utilizar los AX para la formación de geles covalentemente entrecruzados con buenas características reológicas y estructurales.

Los geles producidos por los AX tienen características funcionales interesantes que pueden ser aprovechadas en el desarrollo de productos alimenticios. Presentan olor y sabor neutro, una alta capacidad de absorción de agua (100 mL/g de polímero seco), son estables a cambios de pH y concentración electrolítica; y además tienen una estructura macroporosa que tiene potencial aplicación como vehículos en la liberación de sustancias (Izydorczyk *et al.*, 1995). Las uniones covalentes de los AX son generalmente fuertes, se forman rápidamente, son estables al calentamiento y no presentan sinéresis durante largos periodos de almacenamiento (Niño-Medina *et al.*, 2010). Al aumentar la concentración de los AX en agua, disminuye la tensión superficial, estabilizan espumas (Izydorczyk *et al.*, 1991) y emulsiones, al incrementar la viscosidad de la fase continua (Yadav *et al.*, 2007). Así mismo, los AX representan una importancia considerable en la industria de los cereales, en procesos como la producción de pan y cerveza (Niño-Medina *et al.*, 2010b). Además, Lu *et al.* (2004) reportaron que los AX presentes de forma natural en los granos de cebada y trigo utilizados en la producción de

cerveza, contribuyen a mejorar la viscosidad y la capacidad para el filtrado del producto final. Basados en lo anterior, para formar geles covalentes con los AX, se requiere de compuestos que permitan el entrecruzamiento, lo cual puede llevarse a cabo por vía enzimática (lacasa/O<sub>2</sub>) (Figuroa-Espinoza *et al.*, 1998) o química (cloruro férrico o persulfato de amonio) (Niño-Medina *et al.*, 2010b). Dicha gelificación se produce mediante el entrecruzamiento del AF que une las cadenas de AX con enlaces covalentes (Figura 2).

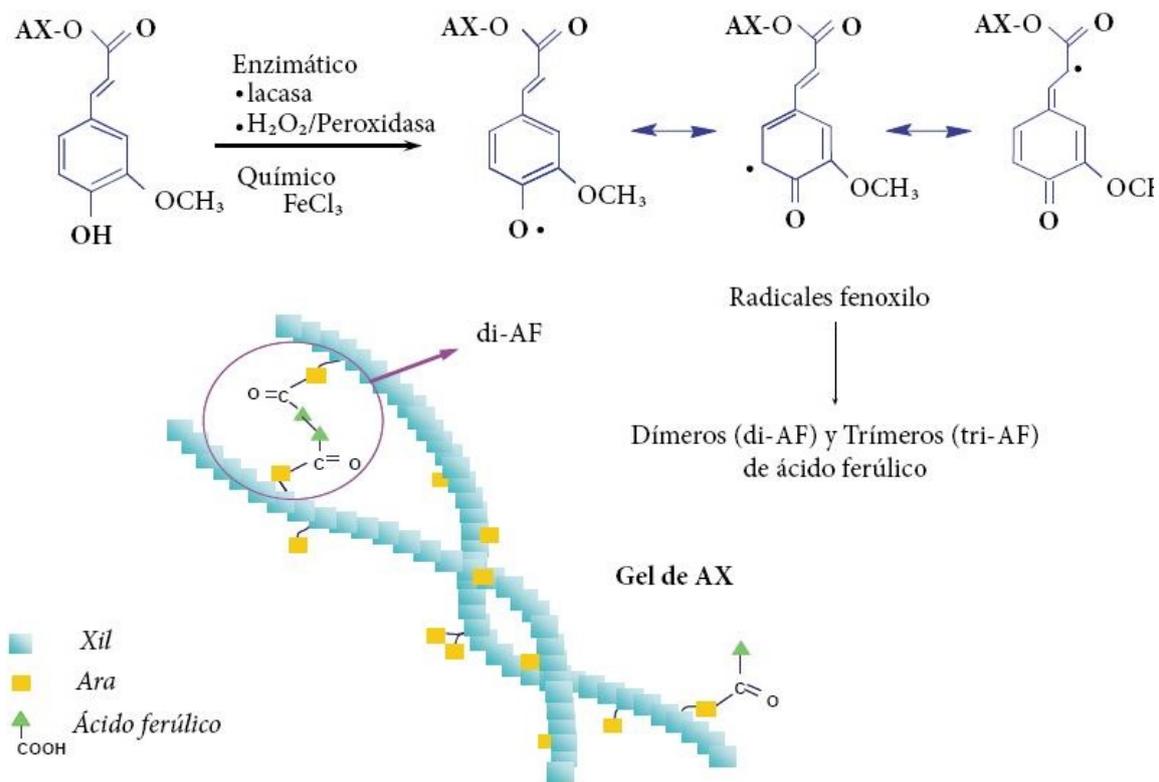


Figura 2. Formación de geles con arabinoxilanos ferulados (AX) (Morales-Ortega *et al.*, 2013).

Estudios previos señalan que es posible la formación de hidrogel de AX inmovilizando proteínas (compuestos de alto peso molecular), sin embargo, hay poca información disponible con la inclusión de sustancias activas de bajo peso molecular (como las metilxantinas) y su liberación de hidrogel de AX (Iravani *et al.*, 2011). Así mismo, se ha observado la formación de películas con AX dejándolas secar en cajas Petri. Por otra parte, González *et al.* (2015), elaboraron películas de AX, añadiendo levaduras (*Debaryomyces hansenii*), como biocontrol de la podredumbre azul del limón mexicano, logrando películas ligeramente amarillas, pero transparentes, flexibles y homogéneas y con una superficie lisa, sin poros ni quebraduras.

Así mismo, se han logrado desarrollar materiales compuestos con AX y otros componentes diferentes. Stevanic *et al.* (2012), elaboró películas con celulosa nanofibrilada, mejorando las propiedades mecánicas, térmicas de absorción y de reblandecimiento inducido por humedad y como barrera de oxígeno. Por otra parte, Sárossy *et al.* (2012) elaboraron películas con AX y sepiolita y demostraron la formación de puentes de H entre la sepiolita y la matriz de AX. Estas características antes descritas ponen de manifiesto la utilidad que pueden tener los AX para formar geles que retengan agua en las matrices alimentarias. Bajo este esquema, se podrían desarrollar formulaciones para que los AX pudieran ser utilizados más ampliamente en la industria alimentaria y específicamente en la cárnica. Para lograr lo anterior, es necesario llevar a cabo más estudios en diversas matrices cárnicas como jamones, salchichas y otros productos que normalmente se producen utilizando otros tipos de agentes gelificantes y retenedores de humedad.

## 2.2 Polímeros Gelificantes Utilizados en Productos Cárnicos y sus Características

La industria cárnica ha venido evolucionando en la formulación de sus productos, al disminuir el uso de proteínas cárnicas con el objetivo de reducir costos, pero procurando mantener las propiedades organolépticas y de calidad que desean los consumidores. Por ello, en el mercado han surgido nuevos aditivos para preservar la textura, mejorar la retención de agua en mayor proporción, resultando funcionales en ambientes desfavorables como alto vacío, bajas temperaturas, concentraciones elevadas de sal o pH. Estos agentes han permitido mejorar los productos cárnicos, con un reducido impacto negativo en la calidad organoléptica exigida por los consumidores. Por lo tanto, establecer el tipo y proporción a utilizar de estos agentes, con el fin de lograr un mejor efecto sinérgico, es de bastante interés para la industria cárnica en general (Restrepo-Molina *et al.*, 2010).

### 2.2.1 Gelificantes a Base de Polisacáridos

Las gomas que se utilizan en el desarrollo de productos cárnicos como salchichas o jamones, tienen funciones como aditivos mejoradores de la textura, retenedores de humedad y/o estabilizantes. Como aditivos mejoradores de la textura sirven para incrementar la firmeza y

rebanabilidad, mejorando la palatabilidad, el esfuerzo al corte y reduciendo de manera importante la cantidad de grasa adicionada. Como retenedores de humedad sirven para reducir la merma que se produce durante la cocción, la purga de los productos empacados al vacío y disminuir el encogimiento en productos que necesitan una cocción posterior. Por ejemplo, se ha reportado que los carragenatos (Figura 3) utilizados como estabilizantes interactúan con los caseinatos para mejorar la estabilidad de la emulsión y evitar la pérdida de grasa (Montoya, 2004; Ayadi *et al.*, 2009). Sin embargo, al momento de intentar incorporar algún polisacárido a un producto, es importante considerar los demás ingredientes que constituyen la formulación; también para prevenir sus interacciones y los posibles efectos que pueda tener sobre el aroma, sabor y color en el producto final (Casas *et al.*, 1998).

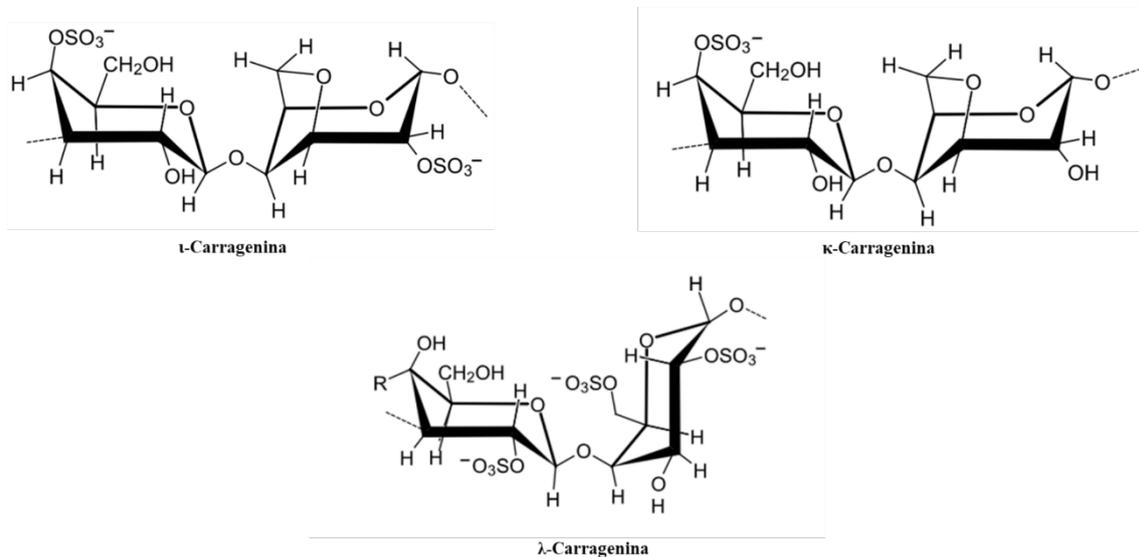


Figura 3. Estructura de las fracciones de carragenina kappa, iota y lambda (Knutsen *et al.*, 1994).

En diversas investigaciones, se han enriquecido productos cárnicos con componentes de fibra dietética y otros carbohidratos, mostrando diferentes funciones tecnológicas y funcionales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Productos cárnicos adicionados con fibra dietética (adaptado de Rivera-Toapanta, 2016).

Producto	Ingrediente	Función	Contenido de fibra (%)	Fuente
Empanadas de carne molida	Fibra: remolacha, avena y chícharo	Sustituto de grasa	3.0–6.0	Troutt <i>et al.</i> (1992)
Carne	Salvado: trigo y cebada	Sustituto de grasa, ingrediente funcional	5.0–10.0	Mansour <i>et al.</i> (1997)
Hamburguesas de carne	Salvado de trigo	Sustituto de grasa	5.0–15.0	Desmond <i>et al.</i> (1998)
Hamburguesa de carne	Fibra de avena	Sustituto de grasa	0.4–2.0	Kumar <i>et al.</i> (2004)
Empanadas de cerdo	Harina de avena	Sustituto de grasa	2.0–4.0	Serdaroglu (2006)
Filete de ternera, empanada de carne	Fibra soluble de avena	Sustituto de grasa, ingrediente funcional	1.4	Piñero <i>et al.</i> (2008)

En la investigación realizada por Restrepo-Molina *et al.* (2010) se utilizó una salmuera para inyección de jamones con una combinación de carrageninas kappa I.II y goma tara, en proporciones de 79:21 respectivamente, para producir jamones molidos y cocidos de carne de cerdo. Los resultados mostraron que la adición de esta salmuera en 50% del peso de la carne provocó una mejor textura en el producto final, tanto sensorial como instrumentalmente, cambio de color y que disminuyó la sinéresis, durante 34 días de conservación en refrigeración (4 °C). De la misma manera, se pudo observar que la dureza incrementó durante el almacenamiento en porcentajes de 1 y 1.2%, del día 0 al día 34, al medirse instrumentalmente; aunque este aumento no fue detectado en el análisis sensorial. En la investigación se concluyó que el aumento en la retención de humedad, provocada por el uso de hidrocoloides en los

jamones de cerdo, cocidos e inyectados, alteró las características organolépticas (aroma, sabor y color), frente a un jamón control que no los contenía, lo cual los hizo sensorialmente menos apetitosos.

### 2.3 Producción y Estructura de la Carne y Productos Cárnicos

La carne es definida como el alimento procedente de la musculatura de los animales, y más ampliamente incluye órganos como el hígado, riñones, cerebro y otros tejidos comestibles. Esta definición se limita a unas cuantas docenas de especies de mamíferos (Lawrie, 2006). Bajo el término carne se entiende fundamentalmente el tejido muscular esquelético, el cual representa alrededor de 35–60% del peso de la canal, y otras cantidades variables de otros tejidos como el conectivo, nervioso, adiposo, óseo y cartilaginoso (Moreno *et al.*, 2014). De los animales que son criados para consumo humano, además de los órganos internos, hay algunas partes que no se consideran habitualmente apetecibles por parte de los consumidores, como la piel, la lana o el contenido gastrointestinal. Por lo tanto, de la totalidad de animales que se producen lo que se utiliza para la industria cárnica son las canales, las cuales están compuestas por masa magra, grasa y hueso, así como de tejido conectivo. La producción animal está en buena parte encaminada a la obtención de materias primas que posteriormente serán transformadas por la industria cárnica para la obtención de otros productos de valor agregado (Warriss, 2003).

En la actualidad, la población mundial va en aumento y con esto sobreviene el incremento en la demanda de productos cárnicos de calidad. Junto a ello, también se incrementa el interés del sector productor e industrial de aumentar las ventas e introducir nuevos productos al mercado (Cáffaro-Tommasiello, 2018). Según el Consejo Mexicano de la Carne (2018), las proteínas presentes en la carne son una parte primordial de una dieta equilibrada, por ser fuente importante de aminoácidos, vitaminas y minerales esenciales para los seres humanos, formando parte de una gran cantidad de platillos de la gastronomía tradicional mexicana. La carne puede provenir tanto de sistemas especializados, como de unidades de producción de porcinos o de engorda de bovinos, así como de subproductos de otras producciones ganaderas cuya principal función no es la de producir carne (Warriss, 2003).

A nivel mundial tanto las preferencias y hábitos de consumo de la población, como los tipos de sistemas productivos y de procesamiento de cárnicos ha ido cambiando a lo largo de los últimos

años (Cáffaro-Tommasiello, 2018). Respecto a la producción y consumo en México, el Consejo Mexicano de la Carne señala que, durante el 2018, México ocupó el séptimo lugar en producción de cárnicos, con más de 6.7 millones de ton producidas anualmente, mostrando un crecimiento de 3.2% respecto al 2017. En lo que respecta al consumo interno, nuestro país se posicionó en el sexto lugar del consumo de carne de res, cerdo y pollo, con más de 8.5 millones de ton anuales, lo cual representa el 3.2% del consumo mundial de carne. Por otro lado, en lo referente a las carnes frías, el Consejo Mexicano de la Carne reporta que, en México durante el 2018, la producción alcanzó en total 965,000 ton y el consumo alcanzó las 974,000 ton. De este total, el 50% (484,571 ton) fueron carnes frías y conservas de carnes de ave, el 22% (211,838 ton) fue de jamones de carnes rojas y un 28% (268,399 ton) de otras carnes frías. Estos datos muestran la importancia de la industria de la carne y productos cárnicos desde el punto de vista económico, social, cultural y nutricional para México.

Según Lawrie (2006) la carne puede considerarse como el resultado *post-mortem* de un tejido biológicamente complejo y se compone principalmente de agua (75%), proteína (19%), sustancias proteicas solubles (3.5%) y por grasa (2.5%). La carne es uno de los alimentos más nutritivos de la dieta del ser humano, esto debido a su gran aporte de proteínas de alto valor biológico, grasas (ácidos grasos esenciales), vitaminas (complejo B) y minerales (hierro, fósforo y zinc), provee calorías básicamente por los lípidos y destaca su contribución vital con las proteínas (Moreno *et al.*, 2014).

El componente más importante de la carne es el músculo o masa magra, los cuales tienen la misma estructura básica, que consiste en células musculares unidas en fascículos unidos a los huesos por tendones. Los músculos están constituidos por fibras musculares, principalmente de miofibrillas, las cuales están formadas básicamente por dos proteínas mayoritarias: la miosina y la actina, que constituyen aproximadamente un 60% del total de las proteínas musculares totales. Estas proteínas no son exclusivas del músculo, sino que se encuentran en muchas células móviles y algunas no móviles (Warriss, 2003). La unidad fundamental de este tejido muscular es la fibra, constituida a su vez por miofibrillas, que son estructuras proteicas rodeadas por una solución llamada sarcoplasma y un fino retículo de túbulos, cada fibra está cubierta por una membrana muy fina que se llama sarcolema rodeada a su vez por tejido conectivo (Lawrie, 2006). Los tendones son estructuras constituidas por tejido conectivo, que rodea desde las fibras individuales, los fascículos de fibras hasta los músculos completos y su unión con los huesos. El músculo esquelético está constituido por células filamentosas especializadas que se llaman fibras musculares y que se encuentran dispuestas paralelamente unas sobre las otras dando lugar a los músculos. Estas fibras conforman el 75–92% del volumen total del músculo (Moreno *et*

*al.*, 2014).

El restante 40% consiste en proteínas celulares no contráctiles que se les llama sarcoplasmáticas y que tienen funciones enzimáticas y estructurales. También se encuentran las proteínas del estroma, como el colágeno y la elastina, las cuales son constituyentes del tejido conectivo y son muy insolubles. Por último, la grasa muscular puede ser subcutánea (depositada bajo la piel del animal), intermuscular (depositada entre los músculos) o intramuscular (dentro de la masa de un músculo). La grasa subcutánea se puede eliminar de una manera relativamente sencilla, la intermuscular y la intramuscular, también denominada marmoleado, son más difíciles (Warriss, 2003). La grasa intramuscular es un factor importante que tiene influencia en la calidad sensorial de la carne (Moreno *et al.*, 2014). Por lo anterior, es importante el conocimiento de la composición de las canales y de su carne para la fabricación de productos cárnicos. En la Figura 4 se puede apreciar la estructura del músculo esquelético.

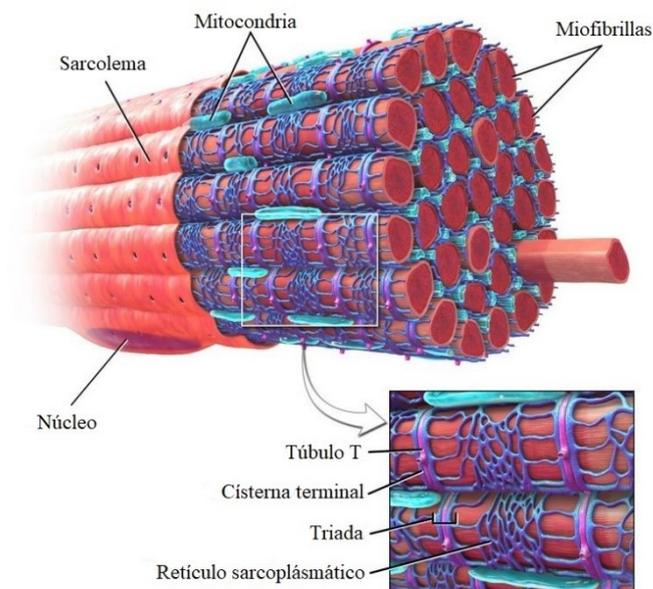


Figura 4. Estructura del músculo esquelético (G-SE, 2019).

### 2.3.1 Estructura de la Matriz Cárnica en Productos Emulsionados y Enteros

Para el desarrollo de diversos productos es de suma importancia conocer el comportamiento y la estructura de las matrices cárnicas es de suma importancia para la confección de diversos productos. La principal carne empleada para elaborar productos cárnicos curados es la de cerdo,

aunque también se ha empleado la de ternera o la de ovino. La carne de cerdo se cura principalmente para elaborar tocino o jamón (Warriss, 2003). El proceso de fabricación de jamón cocido se compone de inyección, suavización, masajeo, embutido, cocción y choque térmico-enfriamiento. La meta final de este procedimiento es lograr una alta retención de humedad y un adecuado ligado de las proteínas cárnicas. Uno de los puntos claves para alcanzar este objetivo es el lograr una adecuada extracción y solubilización de las proteínas cárnicas (miosina y actina, principalmente) por medio de las sales de la salmuera. Una vez solubilizadas, estas proteínas formarán el exudado que produce la adhesión de los pedazos de carne, logrando así una retención del agua, debido a que se forma una red tridimensional de filamentos proteicos (Restrepo-Molina *et al.*, 2010). Todos estos factores intrínsecos de las matrices cárnicas influyen en la producción y la calidad final de los productos ya procesados, lo cual es importante desde el punto de vista comercial y económico para los fabricantes de dichos productos.

2.3.1.1 Composición nutricional y bioquímica de la matriz cárnica de cerdo y res. Las características que influyen en las fibras de los músculos son el resultado de la interacción de diversos factores: la base genética (raza), influencia ambiental (actividad física, alimentación, etc.) y su interacción entre ellos (Moreno *et al.*, 2014). Desde el punto de vista nutricional, las carnes rojas y de pollo contribuyen en cerca de una sexta parte de toda la proteína consumida por el hombre; no es únicamente una fuente concentrada de proteína, sino que ésta tiene un alto valor biológico, porque su composición es similar a nuestras propias proteínas. La carne contiene todos los aminoácidos esenciales (valina, leucina, isoleucina, fenilalanina, triptófano, treonina, metionina y lisina) para el ser humano y es una fuente importante de vitaminas del complejo B (tiamina, niacina, riboflavina, piridoxina, cianocobalamina), de vitamina A y de minerales (hierro, cobre, zinc y selenio) (Warriss, 2003). Las proteínas desempeñan un papel primordial en la función biológica del animal en vivo (Hui y Guerrero, 2006).

Así mismo, la carne contiene todas las sustancias minerales que son necesarias para el correcto funcionamiento del cuerpo humano, entre los que destacan hierro, fósforo, selenio y zinc (Astiasarán *et al.*, 2003). Estos aspectos determinan lo importante que es el consumo de productos de origen animal por la cantidad de nutrientes esenciales que contiene. La composición del tejido muscular de los animales destinados para el consumo humano depende de la edad, género, especie y estado de nutrición, pero son las proteínas que conforman las fibras el componente más importante de la materia seca. Las fibras musculares se pueden dividir en diversos tipos; sin embargo, pueden clasificarse según su metabolismo, propiedades

contráctiles y color, distinguiendo básicamente tres tipos: rojas, intermedias y blancas (Moreno *et al.*, 2014).

Las proteínas cárnicas se clasifican en: 1) sarcoplásmicas (35% del total), son globulinas y albúminas solubles en agua y son las responsables del color de la carne; 2) miofibrilares (50% del total), son responsables de la textura, la retención de agua, emulsión y gelificación y por último las del estroma (15% del total), que son insolubles forman las membranas del tejido conjuntivo y están asociadas a la dureza de la carne (Hui y Guerrero, 2006). La relación que hay entre el tipo de fibras y la suavidad o dureza de la carne no está muy clara; sin embargo, parece existir una correlación positiva entre el elevado contenido de fibras rojas con la jugosidad y sabor de la carne y una correlación negativa entre los elevados contenidos de fibras blancas con la terneza y esfuerzo al corte (Moreno *et al.*, 2014).

Entre de las cualidades bioquímicas de la carne se pueden nombrar: grado de autólisis, grado de proteólisis, pH, actividad de enzimas propias, concentración de sustratos y de producto de los procesos enzimáticos, cantidad de glucógeno y ácido láctico, cantidad de ATP y IMP, etc. (Sánchez, 2009). Toda esta información presentada es importante para poder ubicar a los alimentos de origen animal como la carne y los productos cárnicos, entre de los alimentos con muy buenas propiedades nutricionales para el consumo de los seres humanos.

### **2.3.2 Desarrollo de Productos Cárnicos de Cerdo y Res (Jamón y Salchichas)**

La carne fresca se ha conservado por el procedimiento de curado desde tiempos muy remotos, este proceso aún se utiliza a menudo en combinación con el secado o el ahumado (Fox, 2008). Según la norma mexicana NOM-158-SCFI-2003 el jamón es un producto alimenticio, elaborado exclusivamente con la carne de las piernas traseras del cerdo *Sus scrofa domesticus*, declarados aptos para el consumo humano por la autoridad responsable de acuerdo con los criterios y especificaciones generales que se establecen en esta norma. Por otro lado, según la norma mexicana NMX-F-123-1982, el jamón cocido es el producto alimenticio preparado con la carne de las piernas traseras de cerdos sanos, sacrificados bajo inspección sanitaria. Las piernas deben ser recortadas de forma especial, se debe excluir la carne maltratada, además de quitar todos los huesos y dejar prácticamente libre de cartílagos, tendones, ligamento suelto y tejido conjuntivo, y sometida al proceso de curado y cocción. Una vez que se obtiene el producto final, este debe ser empacado y refrigerado.

El proceso de curado puede ser en seco, como son los jamones españoles (Serrano), italianos (Parma) y franceses (Bayona), entre otros; así como el curado por inmersión en salmuera, donde los perniles y paletas de cerdo curados posteriormente pueden someterse a tratamiento térmico para elaborar jamones cocidos como el tipo York (Warriss, 2003). En el proceso de curado se utilizan dos metodologías, el curado húmedo (agua como vehículo) donde se utiliza una solución concentrada de sal o salmuera, a la cual se le añade tradicionalmente nitrito de sodio para servir de conservador y la otra el curado en seco (Fox, 2008). En un principio se utilizaba la salazón para conservar la carne sin refrigeración, la eficacia de este método se debe en primer lugar a que inhibe el desarrollo microbiano al aumentar la presión osmótica de los productos. Posteriormente los productos curados empezaron a apreciarse más por su calidad organoléptica, reduciendo la concentración de las sales de curado (Lawrie, 2006).

Las proteínas del músculo pueden clasificarse en solubles en agua (proteínas sarcoplásmicas) y solubles en soluciones salinas concentradas (proteínas miofibrilares), estas últimas muy importantes para la fabricación de productos cárnicos (Lawrie, 2006). Para el curado en húmedo, a las piezas de carne se les inyecta una salmuera (con 20% cloruro de sodio) hasta aumentar un 10% del peso con la ayuda de un inyector de multiagujas, las cuales penetran en el tejido blando. Posteriormente se dejan sumergidas en una solución de salmuera con 25% de cloruro de sodio durante 3–5 días para completar el proceso de curado y, por último, se sacan de la salmuera, se secan y se apilan durante 5–7 días para que se equilibren las concentraciones de sales y se produzca cierta desecación (Warriss, 2003). Todos estos procesos se deben dar con un estricto control de temperatura a 5 °C o menos.

El control de la salmuera, tanto en su preparación, contenido, así como en su penetración y difusión en los productos curados es esencial para el resultado y la calidad de productos que se desee fabricar. La penetración de la salmuera durante el curado es controlada por factores osmóticos, existiendo primero un flujo de agua desde la carne a la salmuera, que posee una mayor presión osmótica por su contenido salino (Warriss, 2003). Durante este proceso de curado, se produce un flujo hacia afuera de agua y proteínas solubles desde el músculo hacia la salmuera, por la mayor presión osmótica de esta. Las cantidades de proteínas que son extraídas dependen de la concentración de sal, siendo mayores con concentraciones entre 6–9% de la salmuera (Lawrie, 2006). Después, por la difusión de sal al interior de la carne, la diferencia de la presión osmótica favorece el flujo de la salmuera otra vez al interior de la carne (Warriss, 2003).

Entre los aditivos que se agregan en la producción son los extensores, los cuales permiten retener humedad, mejorar la jugosidad, palatabilidad, ternura, color y aumentar la vida de

anaquel. Por lo tanto, es muy importante tomar en cuenta cuáles serán los aditivos y en qué cantidades se le añadirán a la salmuera que se destinará para la fabricación de productos cárnicos, tanto para los curados, cocidos, emulsionados y/o escaldados. La mayor capacidad de retención de agua que tiene el complejo de sal-proteína está enmarcada en el hecho de que aproximadamente 61 g de los 73 g de agua en la carne de puerco magra puede expresarse por fuerza mecánica (Lawrie, 2006). Estos aditivos juegan un papel esencial en el desarrollo de productos cárnicos, dándoles su identidad para poder ser comercializados y estén dentro de los criterios de elegibilidad de los consumidores. Para la confección de jamones y salchichas, la calidad de la grasa y la naturaleza de los ácidos grasos juegan un papel básico en la calidad, que influye en factores como el aroma, la jugosidad y la terneza. Fundamentalmente, son cuatro ácidos grasos los más importantes en la carne: oleico (C: 18:1), palmítico (C: 16:0), esteárico (C: 18:0) y linoleico (C18:2) (Prieto *et al.*, 1997).

Según la norma NMX-F-065-1984, las salchichas son un producto alimenticio embutido de pasta semifirme de color característico, elaborado con la mezcla de carne (60% mínimo) de ternera o res y cerdo y grasas de las especies antes mencionadas, adicionado de condimentos, especias y aditivos para alimentos. Por otro lado, la norma define a las salchichas Frankfurt como productos alimenticios que cumplen en general con lo señalado anteriormente, elaborados básicamente en su composición con no menos de 60% de carne de res y cerdo; mezclando con grasa de cerdo y emulsificados, sometidos a curación, pudiendo ser ahumados o no, sometidos a cocción, enfriamiento, empacados en material adecuado para su distribución y conservación en refrigeración. La norma establece las dimensiones de las salchichas Frankfurt con un diámetro entre 20–33 mm y una longitud entre 80–100 mm.

En la actualidad, es de vital importancia el uso de aditivos como la carragenina y la fécula de papa en el desarrollo de productos cárnicos, porque actúan como agentes ligantes y presentan grandes ventajas entre las que se puede nombrar la habilidad de ligar agua aportando jugosidad al producto (Ramos *et al.*, 2019). Sin embargo, no se tienen reportes de investigaciones en las que se hayan utilizado otro tipo de extensores como es el caso de los arabinosilanos (AX).

2.3.2.1 Aditivos usados en la fabricación de productos cárnicos de cerdo (jamón York y salchichas Frankfurt). A nivel mundial, en la actualidad la industria cárnica se ha comprometido a desarrollar productos que sean bajos en grasa, sodio y fosfatos, para lograr efectos beneficiosos en la salud de los consumidores (Torres *et al.*, 2012). Por otro lado, Rico *et al.* (2011) señalan que actualmente la elaboración de productos cárnicos adicionando fibras

vegetales cumple funciones de mejoramiento de textura, incremento de volumen, humectación, antioxidante, colorante y además numerosos beneficios a la salud. Según la Norma Oficial Mexicana “NOM-213-SSA1-2018”, un aditivo alimentario es cualquier sustancia que en cuanto tal no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición al producto con fines tecnológicos en sus fases de producción, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del producto o un elemento que afecte a sus características (incluidos organolépticas). Esta definición no incluye “contaminantes” o sustancias añadidas al producto para mantener o mejorar las cualidades nutricionales. Los aditivos más utilizados en la fabricación de productos cárnicos son las sales, tanto de nitrito como de cloruro de sodio.

Para el curado de las carnes, además de la sal y los nitritos y nitratos se pueden añadir catalizadores como el ácido ascórbico o eritórbito y sus respectivas sales, además de otras sustancias como hidratos de carbono, especias u otras sustancias polifenólicas (Hui y Guerrero, 2006). El uso de nitrito a una concentración de 25 mg/kg de carne es adecuada para el correcto desarrollo del color curado (Warriss, 2003). Los nitritos, utilizados como agentes de curación desarrollan un papel muy importante en los productos cárnicos, aportando características con las que los diferencian de otros productos. Además de esto, inhiben el crecimiento del *Clostridium botulinum*, desarrollan el color rosado y el sabor clásico característico de productos curados y curados-cocidos, inhiben el sabor a recocado y ejercen cierta acción antioxidante (Hui y Guerrero, 2006). La norma “NMX-F-123-S-1982” establece para el jamón cocido un máximo 156 mg de nitrito de sodio por kg de producto.

En el proceso de curado de la carne además suelen incluirse otras sustancias en la mezcla de sales como son los fosfatos en forma de polifosfatos o tripolifosfatos, los cuales tienen el propósito de incrementar la capacidad de retención de agua (CRA) y de esta manera aumentar la cantidad de salmuera que puede ser absorbida por la carne, mejorando de esta manera el rendimiento del producto (Warriss, 2003). La norma “NMX-F-123-S-1982” establece para el jamón cocido un máximo agregado de 0.7% de polifosfato de sodio y/o potasio y expresado como  $P_2O_5$  máximo agregado de 0.3%. Los aditivos como los azúcares (glucosa y sucrosa) imparten sabor y el ácido ascórbico (vitamina C) actúa como un agente reductor e inhibe la lisis de la nitrosilmioglobina, previniendo de esta manera la decoloración (Warriss, 2003). Por último, la norma “NOM-158-SCFI-2003” establece las especificaciones de adición de carragenina, fécula y proteína en jamón (Cuadro 2).

Cuadro 2. Especificaciones técnicas para jamón (NOM-158-SCFI-2003).

Clasificación comercial	Proteína libre de grasa % máximo	Grasa % máximo	Humedad % máximo	Proteína adicionada % máximo	Carragenina % máximo	Fécula % máximo
Extrafino	18	6	75	0	1.5	0
Fino	16	6	76	2	1.5	5
Preferente	14	8	76	2	1.5	5
Comercial	12	10	76	2	1.5	10
Económico	10	10	76	2	1.5	10

Otro de los factores que influyen en el uso de aditivos para la elaboración de productos cárnicos es el pH de la carne, debido a que este parámetro afecta la capacidad de retener agua (CRA), y consecuentemente, el desarrollo del curado de la carne es modificado por este factor. A valores de pH bajos o altos, la CRA de la carne aumenta progresivamente, por lo tanto, la carne marinada en vinagre (ácido acético) tiene una mayor CRA y les ocurre lo mismo a las carnes con un elevado pH final. Si el pH se incrementa por la adición de fosfatos alcalinos, y particularmente polifosfatos, la CRA también aumenta (Warriss, 2003). La sal común es el aditivo más utilizado en la industria cárnica, ésta cumple funciones de conservación, emulsificación, saborización, retenedor de humedad y provoca cambios estructurales a través de las interacciones electrostáticas entre proteínas y los iones cloruro y sodio (Torres *et al.*, 2012). Muchos de esos aditivos que podrían utilizarse para mejorar a los productos cárnicos se encuentran en residuos de cereales que se desperdician o se subutilizan en la fabricación artículos de bajo valor comercial

2.3.2.2 Control de calidad y criterios de elegibilidad de productos cárnicos. El control analítico de los productos cárnicos tiene como objetivo asegurar que se cumplen las especificaciones fijadas por la legislación (Prieto *et al.*, 1997). En el Cuadro 3 se muestran los atributos de calidad que definen a los productos cárnicos:

Cuadro 3. Atributos que definen las características de la calidad de los productos cárnicos (adaptado de Sánchez, 2009).

<b>Atributos</b>	<b>Características de calidad de los productos cárnicos</b>
Propiedades físicas	Densidad específica Rendimiento energético Características texturales (dureza, ternera, firmeza, otros) Luminosidad de color (capacidad de reflexión, remisión) Propiedades eléctricas y dieléctricas (conductibilidad eléctrica, capacitancia, factor de disipación dieléctrico) Capacidad de fijación de agua
Composición química	Contenido de agua, grasa y proteínas Contenido de minerales, vitaminas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos esenciales, pigmentos naturales, nucleótidos Residuos de sustancias extrañas y de sus metabolitos, sacáridos y metales pesados
Contaminación Microbiana	Presencia o ausencia de microorganismos patógenos y tóxicos Recuento total de microorganismos Presencia de bacterias, hongos, levaduras y microorganismos esporulados
Propiedades sensoriales	Aspecto, marmoleo, fibrosidad, exudación y firmeza Sabor, aroma, color, dureza y blancura Jugosidad y ternera
Propiedades tecnológicas para el procesamiento	Porcentaje de tejido muscular y otros tejidos Porcentaje de proteínas plasmáticas y de colágeno Capacidad de fijación de agua Color de la carne y su estabilidad Oposición de la grasa a la oxidación Aptitud para distintos grupos y tipos de productos cárnicos
Cualidades higiénicas	Categoría exigencia de ausencia de agentes patógenos (parásitos, microorganismos y virus) y toxinas bacterianas (estafilocócicas y botulínicas) Ausencia de contenido de sustancias extrañas, contaminantes, aditivas y endógenas Aptitud sensorial para el consumo humano

La norma oficial mexicana “NOM-213-SSA1-2002” define a los productos cárnicos procesados como los elaborados a partir de carne, vísceras, estructuras anatómicas, sangre o sus mezclas, provenientes de mamíferos o aves, que pueden someterse a ahumado, cocción, curación, desecación, maduración, salado, entre otros. Por otro lado, señala que los productos cárnicos cocidos son los elaborados con carne, vísceras, sangre o sus mezclas, curados o no, que son sometidos a proceso térmico. Pueden presentarse enteros, en cortes, emulsionados o troceados. La calidad de la carne procesada es difícil de definir, puede expresarse que es la resultante de la intensidad de dos factores: el poder de atracción sobre el comprador y su aptitud para satisfacer a éste, que se ha convertido en consumidor (Sánchez, 2009). Para conseguir optimizar

la calidad en la producción de los productos cárnicos es necesario armonizar, en la mayor medida posible, todos los atributos que definen las características de calidad y a su vez éstas, la calidad total (Sánchez, 2009). Tanto para los productores de ganado como para los industriales de las materias primas, estos aspectos anteriormente descritos son decisivos para posicionar a sus productos y obtener entre los consumidores el mejor nivel de elegibilidad.

2.3.2.3 Características sensoriales de los productos cárnicos: sabor, aroma, jugosidad, palatabilidad, ternura y color. La apariencia de la carne fresca es determinada principalmente por el color, mientras que para la carne cocida la textura, la jugosidad, el flavor y el olor son aspectos importantes (Warriss, 2003). El sabor y el aroma son propiedades organolépticas de la carne de suma importancia para los consumidores, estos junto con el color y la textura son determinantes de la calidad, rechazo o aceptación de la carne y los productos cárnicos. Estos aspectos sensoriales se forman en la carne durante el proceso de cocción, debido a que la carne cruda posee un sabor metálico parecido a la sangre. Por esta razón son tan importantes los diferentes procesos de cocción de los productos cárnicos, ya que durante dichos procesos se suceden en la carne una serie de reacciones en las cuales los diversos componentes como aminoácidos, péptidos, azúcares, lípidos, etc., reaccionan generando compuestos volátiles y no volátiles que imparten aroma y sabor (Hui y Guerrero, 2006).

Respecto a la textura, Lawrie (2006) afirmó que la textura y la blandura de la carne son en la actualidad los atributos de calidad más importantes por los consumidores, siendo incluso mayores que el aroma o color. También señala que la textura se establece a la vista en función del tamaño de las fibras del tejido conectivo del músculo, el cual se determina por la cantidad y tamaño de fibras musculares. Por otro lado, Astiasarán *et al.* (2003), expone que la textura de la carne depende del tamaño de los haces de fibras musculares, o sea del número y diámetro de ellas y de la proporción de tejido conjuntivo del perimio tisular y su dureza depende de la mayor o menor facilidad para ser troceada durante la masticación. Así mismo, Lawrie (2006) también estableció que la impresión global de la blandura de la carne en el paladar incluye además de la textura de otros factores: la facilidad inicial de penetración de los dientes, la facilidad de desintegración y el residuo que permanece de la carne después de la masticación. La textura de la carne puede ser medida instrumentalmente, la estimación de la jugosidad potencial puede ser realizada mediante el análisis químico del contenido de grasa de la carne, y algunos de los componentes del aroma pueden identificarse mediante sofisticados sistemas de análisis como la cromatografía de gases (Warriss, 2003). Para Hui y Guerrero (2006), el

principal atributo sensorial de la carne es la retención de agua asociada a la jugosidad, así como las propiedades de gelificación, emulsificación y cohesión, que permiten producir alimentos con características físicas y sensoriales adecuadas. Todas estas características pueden ser valoradas mediante paneles de catadores en los cuales las muestras son degustadas y puntuadas subjetivamente por un grupo de personas en condiciones más o menos controladas (Warriss, 2003).

Con relación a la jugosidad, Lawrie (2006) estableció que esta se encuentra directamente correlacionada con el grado de retracción que experimenta la carne durante la cocción. Así mismo, Astiasarán *et al.* (2003), refieren que la jugosidad es una característica sensorial de la carne que está muy ligada a la CRA y que tienen naturalmente las proteínas del tejido muscular. Dentro de la carne se encuentran moléculas de agua que pueden encontrarse naturalmente de diversas formas y que dentro del sistema desempeñan un papel importante respecto a la jugosidad de la misma. Según la CRA, las fibras de la carne pueden o no retener una mayor o menor cantidad de agua, que al ser masticada, provoca la sensación de jugosidad o expulsión en forma de exudado en el consumidor. La exudación depende de la cantidad de líquido que sale de la estructura cárnica. Los factores biológicos que repercuten en la jugosidad de la carne son la edad, especie y la función anatómica del músculo del animal de donde provenga la carne (Astiasarán *et al.*, 2003).

Finalmente, en lo que respecta al color de la carne esta es considerada una de las características más importantes para definir la calidad de la carne, éste puede ser rechazado sin valorar otros factores como su aroma, textura o sabor, de ahí su importancia (Hui y Guerrero, 2006). El color de la carne se puede determinar por medio de los pigmentos que contenga, que se pueden a su vez clasificar en cuatro tipos: los biológicos, los producidos por daños durante su manejo, los formados por reacciones enzimáticas y no enzimáticas y por último los colorantes añadidos al producto cárnico (Hui y Guerrero, 2006). El color de la carne, se determina casi en su totalidad (80%) por su contenido en mioglobina que es el pigmento predominante de la carne, determinando su estado químico se pueden establecer las principales diferencias observadas en el color superficial de la carne (Frontela *et al.*, 2006).

La mioglobina es uno de los pigmentos biológicos de la carne, la cual es una proteína sarcoplasmática unida a un grupo hemo formado por cuatro anillos de pirrol con un núcleo de fierro, cuya función es almacenar oxígeno y el cual al oxidarse adquiere diferentes coloraciones (Astiasarán *et al.*, 2003). En el caso de los embutidos listos para consumir como salchichas y jamones, de la misma manera la apariencia física es una parte imprescindible para determinar la calidad y la aceptación por parte de los consumidores. Y es por esto que la adición de AX

por sus características gelificantes a las matrices cárnicas podría mejorar la apariencia física y contribuir a la reducción de costos y al aumento de ganancias de la industria de la carne.

2.3.2.4 Control de calidad en productos cárnicos terminados. El control de calidad en la elaboración de los productos cárnicos tiene que efectuarse en tres etapas: una primera etapa (control de la materia prima), una intermedia (control del proceso de producción) y una final (control de los productos ya terminados). La calidad de la carne de puerco, por ejemplo, gira en función de factores sanitarios, nutrimentales, organolépticos y tecnológicos. Por otro lado, respecto a los productos elaborados, la calidad depende de factores organolépticos, nutrimentales y sanitarios. Dichos parámetros de calidad de la carne y productos cárnicos se pueden evaluar por metodologías analíticas que pueden ser clasificadas en pruebas subjetivas (con paneles de jueces entrenados o no entrenados) y pruebas objetivas (análisis microbiológicos, químicos y/o físicos). En lo que respecta al control inicial de la materia prima, tienen una enorme importancia las propiedades tecnológicas de las carnes, como la presencia de carnes PSE y DFD debido al pH (Prieto *et al.*, 1997). En cuanto al control de calidad intermedio o de producción, tiene mucha importancia el descenso del pH en los embutidos, el desarrollo del color en piezas enteras y el secado. Estos controles ponen de manifiesto la continuidad que hay que darle al control de calidad en la fabricación de cárnicos desde la obtención de la materia prima y su fabricación.

2.3.2.5 Evaluación de los productos cárnicos por los consumidores. La apreciación que hacen los consumidores acerca de la calidad de la carne fresca e industrializada está delimitada por las características organolépticas: textura (firmeza) y color (Pietrasik *et al.*, 2010; Reardon *et al.*, 2010), sabor, acidez, jugosidad y cantidad de lípidos (Reardon *et al.*, 2010). Respecto al color y a la inocuidad, se ha reportado que el curado de la carne es un proceso cuyo principal beneficio es el desarrollo del color rosado característico de la misma; sin embargo, la principal desventaja para la salud es el posible uso excesivo de nitritos que reaccionan con las aminos de las proteínas de la carne, produciendo nitrosaminas que son conocidas por ser cancerígenas (Lugo, 2008). Así mismo, en estudios realizados sobre la concentración mínima de nitratos y/o nitritos agregados a los productos cárnicos curados que no afecten a sus propiedades organolépticas (color y sabor) han mostrado que con una cantidad de 40-100 ppm de nitritos agregados no se ve afectada la aceptabilidad, aroma y sabor del producto cárnico en presencia

del aditivo eritorbato de sodio (Lugo, 2008). No obstante, en México la norma oficial mexicana “NOM-145-SSA1-1995” delimitan los parámetros de concentración máxima de nitritos en 156 mg/kg para la confección de embutidos cocidos.

### **3. HIPÓTESIS**

Las salchichas Frankfurt y el jamón tipo York elaborados con arabinosilanos ferulados como extensores, tendrán características de calidad (química, física, fisicoquímica, sensorial y sanitaria) similares o mejores a los elaborados con carragenatos comerciales.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. Objetivo General

Desarrollar y evaluar formulaciones de salchichas Frankfurt y jamón tipo York adicionados con arabinosilanos ferulados como extensores y comparar sus características de calidad con productos elaborados con carragenatos comerciales.

### 4.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar formulaciones de salchichas Frankfurt y jamón tipo York, utilizando arabinosilanos ferulados de maíz y carragenatos comerciales como agentes extensores.
- Determinar las características de calidad (química, física y fisicoquímica) de jamones tipo York formulados con arabinosilanos ferulados de maíz y compararlos con los elaborados con carragenatos comerciales durante nueve días de almacenamiento en refrigeración.
- Determinar las características de calidad (química, física y fisicoquímica) de salchichas Frankfurt formuladas con arabinosilanos ferulados de maíz y compararlas con las elaboradas con carragenatos comerciales durante nueve días de almacenamiento en refrigeración.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Desarrollo de Formulaciones de Jamón Tipo York y Salchichas Frankfurt

Para el desarrollo de los jamones se utilizó carne de pierna trasera de cerdo de 24 h *post-mortem*, a una temperatura de máxima de 4 °C, con un pH entre 5.8–6.2; mientras que, para las salchichas Frankfurt se utilizó carne de res pulpa bola (*Cuadriceps femoris*) de bovino del cuarto trasero de 24 h *post-mortem*, a una temperatura de 4 °C, con un pH entre 5.8–6.2. Ambos cortes fueron adquiridos con un proveedor local (Norson Alimentos) de la ciudad de Hermosillo, Sonora. Los ingredientes y aditivos utilizados se adquirieron de una empresa de venta de insumos para la industria cárnica. La carragenina utilizada fue iota:kappa en proporción 50:50 (Griffith laboratorios, EUA) y los arabinosidos fueron obtenidos del Laboratorio de Biopolímeros, CIAD, A.C. Las formulaciones de los distintos tratamientos se desarrollaron tomando en cuenta la normatividad mexicana “NOM-158-SCFI-2003”.

### 5.2 Formulación de Jamón Tipo York y Salchichas Frankfurt

Las formulaciones de salchichas Frankfurt (carne de puerco y res) y jamón York (carne de puerco), se desarrollaron tomando en cuenta la normatividad mexicana y formulaciones del Laboratorio de Investigación en Carne y Productos Cárnicos del CIAD, A.C. Las normativas oficiales establecen los lineamientos necesarios para establecer la identidad de los productos, los procesos que se deben llevar a cabo para su producción y las especificaciones sanitarias. Por otro lado, para la verificación final de los productos terminados también detallan los métodos de prueba analíticos que deben utilizarse para comprobar la calidad de los productos cárnicos y los parámetros de las características a evaluar. Tanto para los jamones como para las salchichas se consideraron cuatro tratamientos:

1. Control (sin aditivos extensores).
2. Carragenatos (CAR) al 1%.

3. Arabinoxilanos (AX) al 1%.
4. Producto comercial.

En los Cuadros 4 y 5 se desglosan las formulaciones utilizadas en el desarrollo de los diferentes tratamientos de jamón tipo York (salmuera al 30% respecto a la carne) y de salchichas Frankfurt, respectivamente.

Cuadro 4. Formulación de la salmuera para la preparación de jamones tipo York.

<b>Ingredientes</b>	<b>Control</b>	<b>CAR 1%</b>	<b>AX 1%</b>
Agua	30.00	30.00	30.00
Azúcar	2.57	2.57	2.57
Sal fina	1.65	1.65	1.65
Carragenatos (CAR)	0.0	1.0	0.0
Arabinoxilanos (AX)	0.0	0.0	1.0
Fosfato de sodio	0.50	0.50	0.50
Condimento California	0.40	0.40	0.40
Sal Praga	0.52	0.52	0.52
Humo líquido	0.30	0.30	0.30

Todas las cantidades se encuentran expresadas en porcentaje (%).

Cuadro 5. Formulación de salchichas Frankfurt.

<b>Ingredientes</b>	<b>Control</b>	<b>CAR 1%</b>	<b>AX 1%</b>
Carne de res 90/10	53.45	53.45	53.45
Carne de cerdo 50/50	13.36	13.36	13.36
Hielo en escamas	20.04	20.04	20.04
Carragenatos (CAR)	0.00	1.00	0.00
Arabinoxilanos (AX)	0.00	0.00	1.00
Sal fina	0.87	0.87	0.87
Sal Praga	0.27	0.27	0.27
Ajo	0.43	0.43	0.43
Cebolla	0.50	0.50	0.50
Paprika	0.53	0.53	0.53
Nuez moscada	0.05	0.05	0.05
Cilantro en polvo	0.67	0.67	0.67
Fosfato de sodio	0.03	0.03	0.03
Azúcar	1.00	1.00	1.00
Leche en polvo	7.35	7.35	7.35
Mostaza	0.33	0.33	0.33
Humo líquido	0.10	0.10	0.10

Todas las cantidades se encuentran expresadas en porcentaje (%).

La normativa a seguir para las salchichas fue la Norma Mexicana “NMX-F-065-1984”. Alimentos. Salchichas. Especificaciones. La normativa para el jamón es la Norma Oficial Mexicana “NOM-158-SCFI-2003”. Jamón-denominación y clasificación comercial, especificaciones fisicoquímicas, microbiológicas, organolépticas, información comercial y métodos de prueba. En el caso de los productos comerciales, se escogieron siguiendo la identidad del producto que se desea conseguir según la normatividad mexicana vigente. En el caso del jamón fueron seleccionados productos de jamón tipo York fino de carne de cerdo (pierna trasera) y para las salchichas, fueron seleccionadas salchichas Frankfurt de res y cerdo. El procedimiento para el desarrollo de los tratamientos de jamón tipo York se muestran a continuación y en la Figura 5 se detalla en forma de diagrama de flujo:

1. Los ingredientes de la salmuera se pesaron y mezclaron hasta disolverse por completo.
2. A la carne se le retiró la grasa de cobertura, el tejido conectivo y el cartílago visible, para ser separada en lotes de 1 kg para cada uno de los tratamientos.
3. La carne se cortó en trozos de 5 cm por lado y a continuación se molieron en un molino de carne (Lem W781A #32, USA), utilizando un cedazo tipo riñonero de tres lóbulos #32.
4. La carne se mantuvo en todo momento en un rango de 0–2 °C o menos.
5. Una vez obtenido cada lote de carne se le agregó la salmuera (30% respecto al peso de la carne), y se colocó en una masajeadora en condiciones de vacío (Torrey MV25, México) con la siguiente secuencia de trabajo: 30 min de masajeo + 15 min de reposo + 30 min de masajeo, todos a temperatura de refrigeración (4 °C) y con un vacío de 20–40 mmHg.
6. Los tratamientos fueron embutidos por separado utilizando una embutidora (LEM SM25, USA) en fundas semipermeables de celulosa (Viskase casing, EUA) de 10 cm de diámetro, y enseguida sometidas a un reposo de 24 h a 4 °C.
7. Los jamones etiquetados secocinaron en un horno (Enviropak modelo CVU-350, EUA) con etapas de calor seco a 60 °C y vapor a 82 °C por intervalos de 2 h y/o hasta obtener una temperatura interna en el centro de 73 °C. Una vez cocidos el producto se sometió a un choque térmico con hielo y se dejó estabilizar durante 24 h a 4 °C.
8. A las 24 h, se retiraron las fundas de los jamones y se empacaron al vacío (Supervac modelo GK-185, Austria) con un tiempo de vacío de 18 s y un tiempo de sellado de 2.5 s en bolsas de vacío de polietileno de alta densidad con barrera de EVOH de 20x25 cm (Torrey, México), para ser almacenados en refrigeración a 4 °C y realizar los análisis de calidad en los días establecidos.

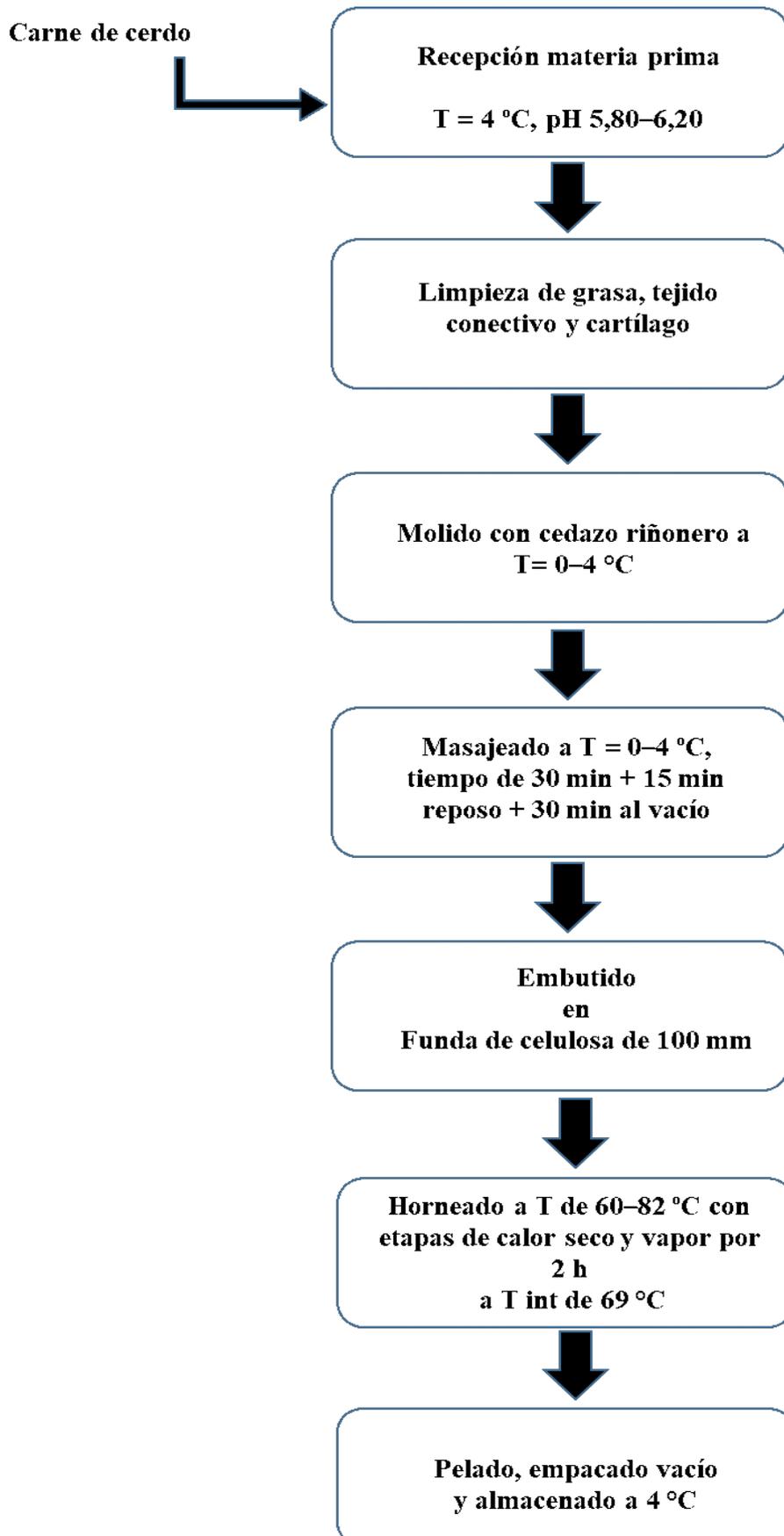


Figura 5. Diagrama de flujo de producción de jamón tipo York.

Por otro lado, el procedimiento para el desarrollo de los tratamientos de salchichas Frankfurt se muestran a continuación y en la Figura 6 se detalla en forma de diagrama de flujo:

1. Se pesaron los ingredientes cárnicos, y los aditivos.
2. La grasa de cobertura, el tejido conectivo y el cartílago visible fueron separados de la carne de res y cerdo y fue separada en lotes para formular para cada uno de los tratamientos.
3. A continuación, la carne se cortó en cubos de aproximadamente de 5 cm por lado, para posteriormente ser molida en un molino de carne (Lem W781A #32, USA) con un cedazo de 3/8", y la carne ya molida se colocó en una cutter (Kilia vacuum bowl 30, Alemania) para formar la emulsión según la fórmula. La carne se mantuvo durante todo el proceso a una temperatura entre 8–10 °C, para evitar la pérdida de la emulsión.
4. Durante el mezclado se fueron agregando cada uno de los ingredientes de la formulación, en esta secuencia: iniciando con la sal Praga disuelta en agua purificada (25 mL), posteriormente se agregó hielo, sal, especias, aditivos y especias en polvo.
5. Una vez obtenida la emulsión, los tratamientos fueron embutidos por separado con ayuda de una embudidora (LEM SM25, USA) en fundas semipermeables de celulosa de #26 de 22–25 mm de diámetro (Viskase casing, EUA) y se separaron en tramos de 12 cm de largo con un hilo de algodón.
6. Las salchichas se etiquetaron por tratamientos y cocinaron en horno eléctrico (Enviropak modelo CVU-350, EUA) con etapas de calor seco a 60 °C y vapor húmedo a 88 °C por intervalos de 2 h y/o hasta obtener una temperatura interna en el producto de 69 °C. Una vez cocidas se sometieron a un choque térmico en agua con hielo y se dejaron estabilizar en un cuarto frío durante 24 h a 4 °C.
7. A continuación, a las 24 h se removieron las fundas de las salchichas y se empacaron al vacío con un tiempo de 18 s y con un tiempo de sellado de 2.5 s, en bolsas de polietileno de alta densidad con barrera de EVOH de 20x25 cm (Torrey, México) y a continuación se almacenaron en refrigeración a 4 °C para a continuación realizar los análisis de calidad.

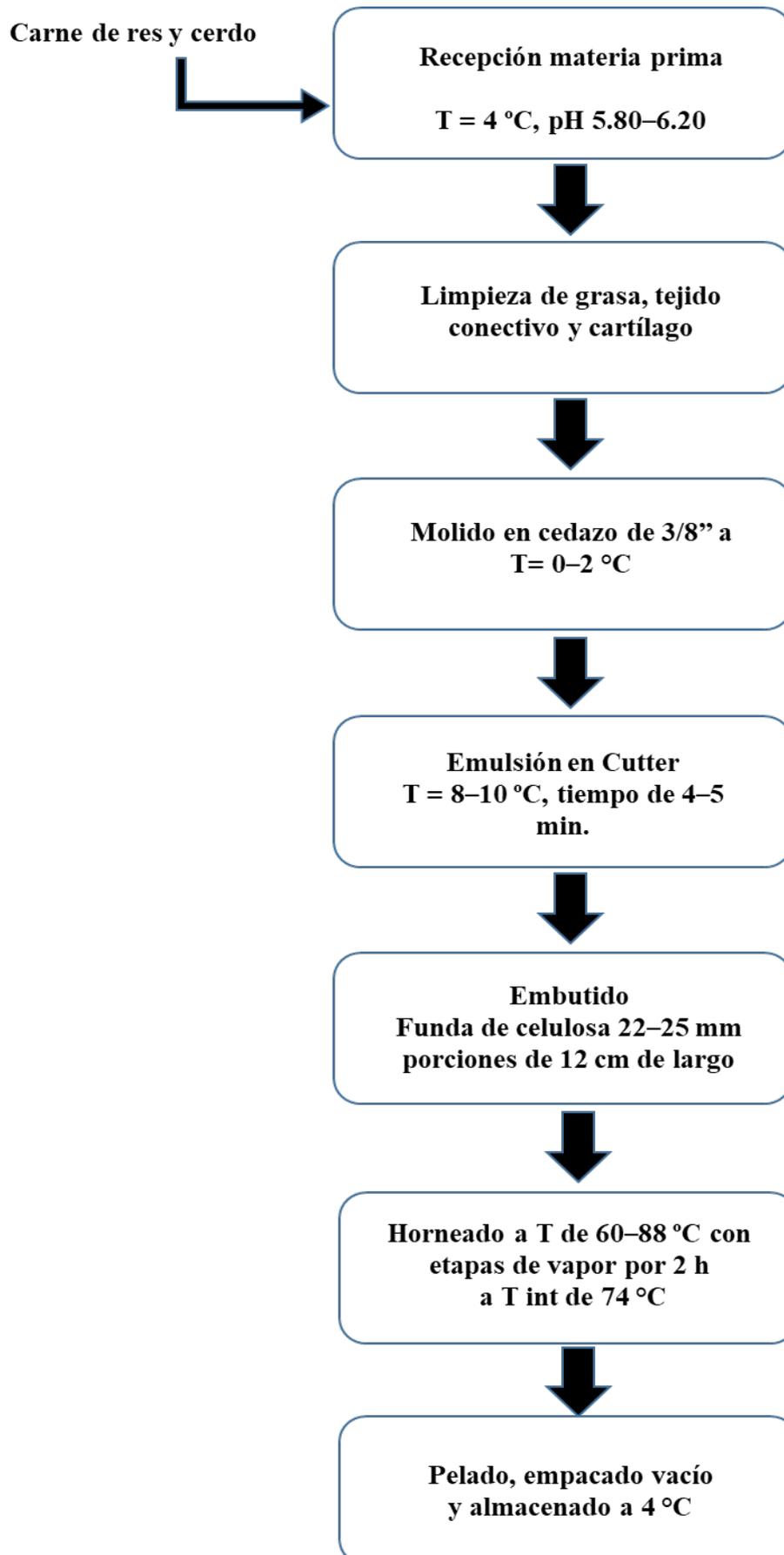


Figura 6. Diagrama de flujo de producción de salchichas Frankfurt.

### 5.3 Análisis de Calidad

Una vez desarrolladas las formulaciones y elaborados los jamones y salchichas, se procedió a la evaluación de los análisis de calidad, los cuales incluyeron:

- A. **Análisis químico proximal:** este incluyó la determinación del contenido de humedad, proteína, grasa y ceniza de un alimento, los cuales son expresados en porcentaje de base húmeda. Este análisis se llevó a cabo para verificar los contenidos de humedad, grasa y proteína, para comprobar que se encuentren dentro de los rangos establecidos por la normatividad y poder ser considerados jamón fino y salchichas Frankfurt. Las determinaciones se realizaron por triplicado para cada uno de los tratamientos, en el día 0 de elaboración del producto.
- B. **Análisis fisicoquímicos:** este incluyó la determinación de pH, humedad exprimible,  $T2_{(1)}$ ,  $T2_{(2)}$ , análisis de color en el espacio CIEL\*a\*b\*, análisis de perfil de textura (ATP) y Warner-Bratzler (para el caso de las salchichas). Estas determinaciones fueron útiles para hacer comparaciones con productos comerciales y de control de calidad e identidad de productos cárnicos. Todas las determinaciones se realizaron durante un periodo de almacenamiento de 9 días y condiciones de refrigeración de 4 °C realizando muestreos cada tercer día. Las determinaciones de pH, humedad exprimible y  $T2$  se evaluaron por triplicado, mientras que los valores de color y textura fueron obtenidos de 10 mediciones de cada muestra.

#### 5.3.1 Análisis Químico Proximal

El análisis químico proximal incluyó los parámetros de humedad, proteína, ceniza y grasa siguiendo la metodología de la AOAC (2007): humedad (método gravimétrico #950.46), proteína (método Kjeldhal #960.52), ceniza (método gravimétrico #920.153) y grasa (método Goldfish #920.39).

### 5.3.2 Análisis Físicoquímicos

5.3.2.1 Análisis de pH. La determinación del pH se realizó acorde al siguiente procedimiento tomado de Torrescano *et al.* (2003).

5.3.2.2 Evaluación de la capacidad de retención de agua (CRA). Para la determinación de la capacidad de retención de agua (CRA) se utilizó el método de centrifugado con papel filtro propuesto por Rico *et al.* (2011).

5.3.2.3 Análisis de relaxometría  $T2_{(1)}$  y  $T2_{(2)}$ . Los análisis de relaxometría se realizaron según el método reportado por Li *et al.* (2012), con algunas modificaciones. El espectrómetro de resonancia magnética mide la velocidad de relajación (ms) de los protones de agua (H) que son sometidos a un campo magnético externo y se les aplicó radiación en el rango de las radiofrecuencias. Este procedimiento se desarrolló de la siguiente manera:

1. Se cortaron rebanadas de jamón y de salchicha de 1.5 cm de largo.
2. Se usaron tubos cilíndricos de vidrio de 10 mm de diámetro los cuales fueron usados para cortar las muestras en forma cilíndrica.
3. Posteriormente, los tubos se insertaron en la sonda del espectroscopio (Bruker, Minispec Mq20, USA). que fue operado a 22 MHz, con una separación de pulsos de 2.000 ms a una temperatura de las muestras de 25 °C. Un total de 300 puntos fueron adquiridos y ajustados a un modelo exponencial.
4. Dos tiempos de relajación T2 fueron medidos:  $T2_{(1)}$  y  $T2_{(2)}$ . Las velocidades de relajación fueron analizadas por el software Minispec, contenido en el equipo.
5. Estos datos expresan que tan rápidamente se relajaron los protones del agua (H) dentro del campo magnético después de que se les aplicó la radiofrecuencia específica para este tipo de protón. En la Figura 7 se puede observar el equipo utilizado y en la Figura 8 los tubos conteniendo muestras.



Figura 7. Espectrómetro de resonancia magnética nuclear.

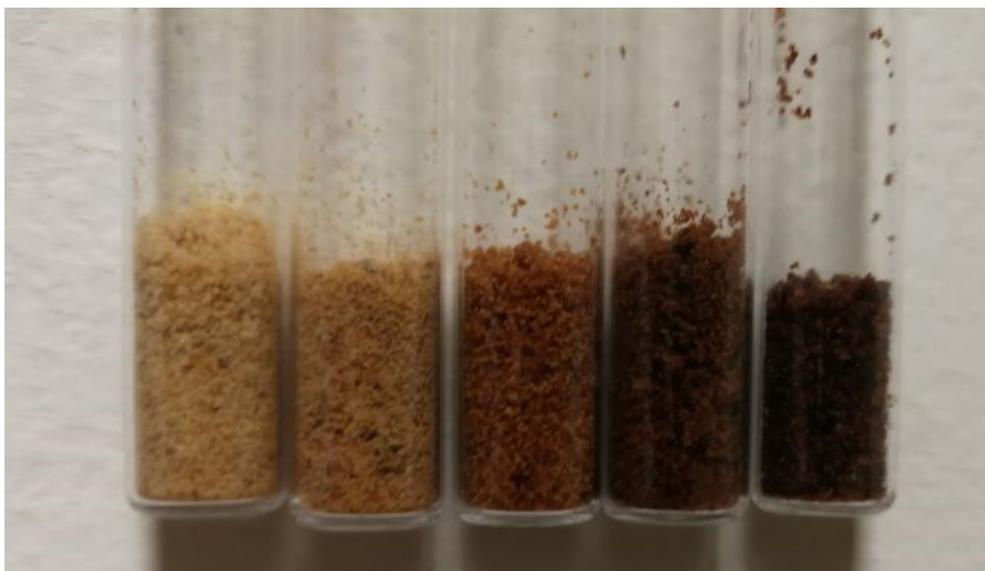


Figura 8. Tubos de resonancia magnética nuclear con muestras.

5.3.2.4 Evaluación de esfuerzo al corte (técnica Warner Bratzler) y perfil de textura (APT). Para la determinación de la textura de los productos cárnicos se utilizó la prueba de Warner-Bratzler (Warner, 1929, 1952; Bratzler, 1932, 1949, 1954) en la salchicha, la cual mide el esfuerzo al corte; y el análisis de perfil de textura (APT) según lo reportado por Szczesniak (2002) fue aplicado en el jamón y la salchicha. Ambas pruebas se realizaron utilizando un texturómetro TA-XT plus (Stable micro systems, UK) a una temperatura de 25 °C. Para el análisis de esfuerzo al corte las muestras de salchichas se cortaron en piezas de 3 cm de largo y se colocaron en la

base de la plataforma de uso pesado del texturómetro utilizando una celda de carga de 50 kg. Las condiciones de operación del equipo fueron:

- A. Cabezal: navaja de esfuerzo al corte Warner-Bratzler en “V” (Stable micro systems HDP/WBV, UK)
- B. Velocidad del cabezal: 5 mm/min.
- C. Distancia de corte: 30 mm.
- D. El parámetro de medición fue: fuerza máxima de esfuerzo al corte (kg).

Para la evaluación de perfil de textura (APT), se cortaron las muestras en forma de paralelepípedos con dimensiones de 10x10x10 mm (largo x ancho x alto). Dichas muestras se colocaron en el centro de la plataforma de uso pesado del texturómetro y se utilizó una celda de carga de 50 kg. Las condiciones de operación del equipo fueron:

- A. Cabezal: sonda circular plana de 75 mm de diámetro (Stable micro systems P/75, UK).  
En la Figura 9 se muestra el equipo utilizado para esta determinación.
- B. Velocidad del cabezal: 5 mm/s.
- C. Compresión al 50% (en dirección perpendicular a las fibras musculares).
- D. Los parámetros determinados fueron: dureza (kg), adhesividad (kg), cohesividad, gomosidad (kg) y masticabilidad (kg). En la Figura 10 se muestran los parámetros obtenidos del perfil de textura (APT).

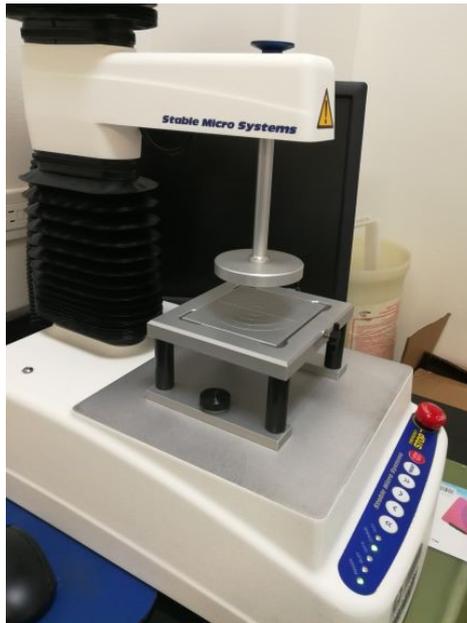


Figura 9. Texturómetro con sonda para perfil de textura (APT).

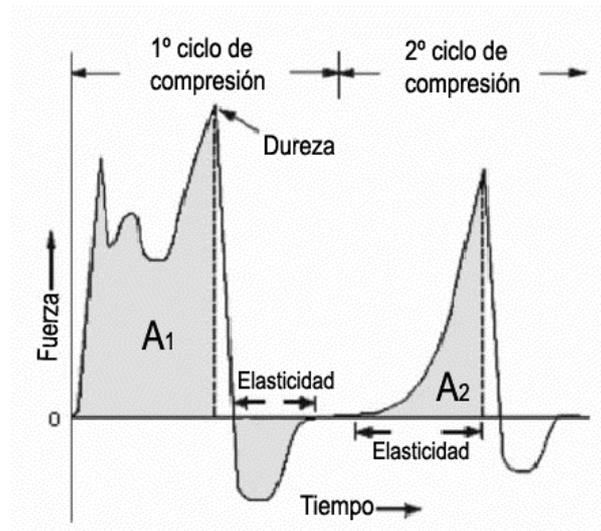


Figura 10. Gráfica general del análisis de perfil de textura (APT) (Hleap y Velasco, 2010).

### 5.3.3 Evaluación de Color en el Espacio CIELAB

Para la evaluación de color se utilizó un colorímetro (Minolta Camera Corporation modelo CR-300, USA) con las condiciones de iluminante D65 y 10° de ángulo del observador. Se realizaron

10 mediciones a 25 °C, en el caso de los jamones las mediciones se realizaron en rebanadas de 1 cm y para las salchichas se realizó solo por la parte exterior. Las pruebas fueron realizadas al azar en la superficie de los productos, tomando en cuenta los parámetros de Honikel (1998). Los valores obtenidos de L\*, a\*, b\* y C\*, fueron obtenidos y procesados utilizando el software SpectraMagic.

#### **5.3.4 Análisis Estadístico**

El experimento fue un diseño completamente al azar con una ANOVA de una vía para las determinaciones del proximal y una ANOVA de dos vías para las determinaciones fisicoquímicas, de textura y de color. Se tuvieron cuatro tratamientos:

1. Control (sin aditivos extensores).
2. Carragenatos (CAR) al 1%.
3. Arabinoxilanos (AX) al 1%.
4. Producto comercial.

Para todos los análisis primeramente se comprobó la normalidad de los datos con las pruebas de Kurtosis, Skewness y Omnibus con una alfa de 0.05 y cuando se encontraron diferencias significativas se realizó una comparación de medias utilizando la prueba de Tukey-Kramer, con una  $p < 0.05$  para identificar diferencias significativas. Todos estos datos fueron analizados utilizando el programa estadístico NCSS11.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Composición Química Proximal del Jamón Tipo York

La evaluación de la materia prima utilizada en la elaboración de los jamones inició con la medición del pH, teniendo en cuenta que el pH de la carne cruda varía entre 5.5–5.8, dependiendo de la cantidad de glucógeno del músculo presente al efectuarse el sacrificio y de los cambios *post-mortem*. El resultado obtenido del pH de la carne de la pierna trasera de cerdo fue de  $5.83 \pm 0.02$  lo cual es considerado como normal. En las Figuras 11 y 12 se muestran los jamones antes y después de ser cocinados en el horno, destacando que el proceso de cocción se llevó a cabo de manera eficiente, ya que alcanzó la temperatura propuesta de 73 °C. El rendimiento de los jamones fue: control ( $91.20 \pm 2.22\%$ ), CAR 1% ( $92.03 \pm 1.06\%$ ) y AX 1% ( $93.27 \pm 0.16\%$ ). Hay que puntualizar que cada jamón fue pesado antes y después de su cocción y etiquetado con un número para su seguimiento.



Figura 11. Jamones sin cocinar.

En la Figura 13 se muestran los cortes transversales de los jamones cocidos evaluados, destacando la uniformidad en el color a pesar de la presencia de pequeñas oquedades, debido a que el embutido se realizó sin vacío. Por otro lado, es importante comentar que la presencia de

coloraciones oscuras en la superficie del jamón se debe a que hay músculos con más concentración de mioglobina en la pierna trasera de cerdo como son los músculos *Semimembranosus* y *Aductor* y otro menos obscuro como es el *Biceps femmoris*. Es importante comentar que la producción de jamones curados, tanto en seco como en húmedo, se basa fundamentalmente en dos procesos: la absorción y la difusión de la sal y de los aditivos dentro de los músculos (por frotación o por salmuera inyectada) y la deshidratación progresiva de éstos (tanto en horno o por secaderos) con el objeto de estabilizar el jamón por medio de la disminución de la actividad de agua y para facilitar el desarrollo, posteriormente, de las apropiadas características sensoriales; por lo que en base a esto el tipo de músculo presente en la pierna influye en la coloración final del jamón obtenido.



Figura 12. Jamones cocinados.



Figura 13. Cortes transversales de los jamones.

El propósito principal de un análisis proximal en el desarrollo de un producto cárnico, es ratificar el contenido de humedad, grasa, proteína y cenizas convenido en la formulación y además de cumplir lo establecido por las normas que regulan los tipos de productos. Los resultados obtenidos del análisis proximal practicados al jamón tipo york con y sin AX se muestran en el Cuadro 6, donde se observa que existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos realizados. En relación al porcentaje de humedad la PROFECO (2001), establece que dicho porcentaje en el caso del jamón depende de la cantidad de agua que contiene naturalmente la carne y, además, del porcentaje de sólidos y agua que fueron añadidos en la salmuera. Dicho porcentaje debe situarse en el rango de entre 72–78% por cada 100 g de producto final, por lo que los productos desarrollados en este trabajo cumplieron con este concepto. El porcentaje de humedad junto con el de proteína libre de grasa (PLG), son los parámetros más importantes que delimitan la clasificación de los jamones en extrafino, fino, preferente, comercial y económico (PROFECO, 2001).

Cuadro 6. Composición química proximal del jamón tipo York adicionado con AX.

Parámetros (%)	Tratamientos			
	Control	CAR 1%	AX 1%	Comercial
<b>Humedad</b>	73.84±0.62 <sup>a</sup>	74.73±0.32 <sup>ab</sup>	75.07±1.00 <sup>b</sup>	75.73±0.14 <sup>b</sup>
<b>Proteína</b>	17.38±0.36 <sup>b</sup>	16.12±0.40 <sup>a</sup>	16.06±0.28 <sup>a</sup>	17.11±0.14 <sup>b</sup>
<b>Grasa</b>	3.52±0.33 <sup>b</sup>	3.33±0.64 <sup>b</sup>	3.84±0.36 <sup>b</sup>	1.12±0.09 <sup>a</sup>
<b>Ceniza</b>	3.30±0.54 <sup>b</sup>	3.05±0.10 <sup>ab</sup>	2.58±0.16 <sup>a</sup>	3.02±0.06 <sup>ab</sup>
<b>Carbohidratos</b>	1.89±1.19 <sup>a</sup>	2.59±1.11 <sup>a</sup>	2.41±0.80 <sup>a</sup>	2.99±0.20 <sup>a</sup>
<b>Rel. humedad/proteína</b>	4.25±0.11 <sup>a</sup>	4.64±0.12 <sup>c</sup>	4.67±0.11 <sup>c</sup>	4.42±0.03 <sup>b</sup>

Todos los valores son expresados como la media ± D.E. (n = 2). Diferentes literales entre tratamientos indican deferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

Por otro lado, de acuerdo con la norma mexicana NOM-158-SCFI-2003, el jamón catalogado como fino debe tener como máximo un 76% de humedad. Por lo anterior, todos los jamones analizados cumplen con los requerimientos para ser denominados como jamones finos por dicha normativa. Mientras que, la norma NMX-F-123-S-1982 establece que el jamón debe tener máximo 74% de humedad, por lo que, de acuerdo a esta última norma, sólo el jamón control se encuentra dentro de este rango. En la investigación realizada por Frontela *et al.* (2006)

desarrollaron jamones utilizando carragenatos y estabilizante E450 (difosfatos) y reportaron valores de porcentajes de humedad para jamón cocido entre 70.7–74.7%, por lo que el valor de humedad obtenido en esta investigación para el jamón control se encuentran dentro de dichos rangos, con excepción del jamón con AX 1% y el comercial, que presentaron valores ligeramente mayores, pero sin diferencias significativas entre ellos ( $p>0.05$ ). Esto coincide con lo señalado por Rivera-Toapanta (2016), que indicó que la fibra de cereales como los AX ha sido utilizada como aditivo para el desarrollo de productos cárnicos como retenedores de agua y aceite, mejoradores de emulsiones y como extensores.

Al comparar los porcentajes de humedad de los jamones con AX 1% con normativas de otros países, se puede apreciar que el protocolo de calidad para el jamón cocido de Argentina N°: 1-E/2017 (2017), establece como parámetro que los jamones deben tener aproximadamente 73% de contenido de humedad. Además, la norma técnica colombiana NTC 1325 (1998) para jamón cocido Premium asigna un porcentaje de humedad máximo de 86%. Por lo anterior, se puede indicar que los jamones desarrollados con AX 1% se encuentran dentro de los rangos establecidos en dichos países por la normativa vigente. En general, los tratamientos adicionados con AX 1% y el comercial presentaron mayor contenido de humedad ( $p<0.05$ ) respecto al control, no así en el caso de los jamones con CAR 1% y AX 1%, los cuales al ser comparados entre ellos no presentaron diferencias significativas ( $p<0.05$ ). Estos valores indican que los jamones se comportaron de la misma forma al adicionar CAR 1% y AX 1% en la salmuera y, que el jamón con AX 1% se comportó igual al jamón comercial. Estos datos muestran al utilizar AX como aditivos extensores es posible desarrollar jamones con propiedades similares ( $p>0.05$ ) en cuanto a la capacidad de retener humedad durante la preparación y cocción, que los producidos con CAR, con la misma concentración (1%) adicionada.

En lo que respecta al contenido de proteína, según las normas mexicanas NOM-158-SCFI-2003 y la NMX-F-123-S-1982, el jamón fino debe de contener un mínimo de 16% de proteína libre de grasa (PLG); por lo que, de acuerdo con lo establecido en estas normas, todos los jamones elaborados presentaron valores dentro de los de referencia, por lo que pueden clasificarse como jamón fino. Por otro lado, la normatividad del jamón cocido y curado de la FAO (2015), el Codex Stan 96-1981 establece un porcentaje mínimo de proteínas cárnicas libres de grasa de 16.5%. En este caso, sólo los jamones control y el comercial se encuentran dentro de ese rango, los jamones con CAR 1% y AX 1% presentaron valores ligeramente menores, siendo el jamón con AX 1% el que presentó un porcentaje más bajo.

Por otra parte, al comparar los resultados del contenido de proteína de los jamones con normativas de otros países, la norma técnica colombiana NTC 1325 (1998), establece un

mínimo de 14% de proteína, por lo cual el jamón con AX 1% (16.06%) se encuentra dentro de este rango y puede ser llamado jamón Premium. Además, la norma BOE Real Decreto 474/2014 de España, la cual determina las características fisicoquímicas de los derivados cárnicos, establece una cantidad de proteína para el jamón cocido de  $\geq 14.0$  %. Tomando en cuenta esta normativa, el jamón con AX 1% también se encuentra dentro del rango establecido. Además, es importante señalar que los jamones con AX 1% no presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) respecto al jamón con CAR 1%, no así con los jamones control y comercial; por lo tanto, el jamón adicionado con AX 1%, al tener un comportamiento similar al jamón con CAR 1%, permite confirmar su posibilidad de uso en la manufactura de este producto.

En relación a la mayor cantidad de proteína que marca la diferencia entre el jamón con AX 1% y el comercial, esto puede deberse a que en el etiquetado de este último se señala que en su formulación contiene proteína de soya. Sin embargo, el jamón con AX 1% en su formulación no contiene proteínas diferentes a las cárnicas, por lo tanto, no se puede saber con exactitud qué proporción del total de la proteína del jamón comercial es de origen cárnico y cuánto fue añadido en forma de proteína de soya. Finalmente, es importante señalar que los jamones producidos con AX como aditivo extensor lograron formar una matriz estable con las proteínas cárnicas de la misma manera que la que se logró con los jamones que fueron incorporados con CAR en su formulación en el mismo porcentaje del 1%.

El porcentaje de grasa determinado en los jamones la NOM-158-SCFI-2003, señala que el jamón fino debe tener un máximo de 6% de grasa, mientras que la NMX-F-123-S-1982 establece un porcentaje máximo de 15%. Los resultados obtenidos indican que los jamones evaluados tuvieron valores dentro de los parámetros establecidos por las normas mexicanas y así mismo, por lo señalado por Frontela *et al.* (2006), que indicó en su investigación un rango de grasa para jamón cocido de 2.7–5.5%. Por otra parte, la norma técnica colombiana NTC 1325 (1998) delimita los porcentajes de grasa para jamón Premium en un máximo de 6%, por lo que los jamones se encuentran dentro de este último parámetro.

Los jamones de los tratamientos control, CAR 1% y AX 1% no presentaron diferencias ( $p > 0.05$ ) en el contenido de grasa (valor promedio = 3.56%), lo cual puede ser debido a que los lotes de jamón fueron producidos con el mismo tipo de carne, esto comprueba la formulación y señala que los AX no producen interferencia o pérdida de grasa en la matriz cárnica de los jamones al prepararse y cocinarse. Sin embargo, el jamón comercial obtuvo un porcentaje ( $p < 0.05$ ) menor de grasa (1.12%), lo cual concuerda con el etiquetado del mismo (producto bajo en grasa). En resumen, se demuestra que los AX en la matriz cárnica fueron capaces de mantener el mismo uso que las CAR a la misma concentración (1%).

En cuanto al porcentaje de ceniza que se obtuvo en los jamones (>3%), los resultados muestran que estos valores se encuentran muy cercanos a los parámetros reportados por Loyola *et al.* (2013) de 3.27–4.96%. Los jamones del grupo control, CAR 1% y el comercial presentaron los valores más altos ( $p < 0.05$ ) de ceniza, en comparación con el AX 1%. La mayor cantidad de cenizas en el jamón comercial y el jamón control puede deberse a los minerales provenientes de la carne y a los ingredientes que se añaden en la formulación como aditivos, estos en forma de óxidos, sulfatos, fosfatos y silicatos dependiendo del producto alimenticio que se trate (Loyola *et al.*, 2013), así como a la menor cantidad de humedad que presentaron. Con respecto a los jamones del tratamiento con CAR 1%, la mayor cantidad de cenizas se atribuye, con diferencia de los AX, a los residuos de azufre presentes en su estructura. Por último, es importante señalar que el jamón AX tiene porcentaje similar ( $p > 0.05$ ) de cenizas a los jamones CAR y al jamón comercial.

Respecto al contenido de carbohidratos, los cuales fueron obtenidos por diferencia se muestra que los valores obtenidos se encuentran dentro de los porcentajes reportados por Loyola *et al.* (2013), en el rango de 3.75–6.98%. No se presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en el contenido de carbohidratos (valor promedio = 2.47%) en los jamones evaluados. La norma BOE Real Decreto 474/2014 de España establece que el jamón cocido debe tener un porcentaje de azúcares solubles totales  $\leq 2.0\%$ , por lo tanto, los jamones control, CAR 1% y AX 1% presentaron un valor muy cercano a lo establecido por dicha norma. Por lo anterior, estos resultados muestran que los AX adicionados a los jamones no alteran la cantidad de carbohidratos presentes en comparación con el control y los producidos con CAR en la misma concentración adicionada (1%).

Por otro lado, la relación humedad/proteína es una medida que regula la cantidad de agua que es añadida a los jamones; sin embargo, este parámetro aún no se encuentra legislado en la normatividad mexicana, por lo cual, tomando solamente como referencia la norma BOE Real Decreto 474/2014 de España, del jamón cocido extra que establece que éste valor no debe ser superior a 4.13. En ninguno de los tratamientos realizados se obtuvo el valor propuesto por el BOE, siendo el tratamiento control el único que presentó esta relación. Lo anterior se debe a que la norma española, a diferencia de la mexicana, no permite el uso de aditivos como los AX o CAR que produzcan un aumento de la humedad en los productos cárnicos como el jamón. Respecto a la legislación argentina en su código alimentario (2017) cap. VI, art. #294, se establece que la relación humedad/proteína en jamones cocidos no debe ser mayor a 4.65. Al considerar esta norma, los jamones AX 1% y CAR 1% presentaron una proporción superior a lo establecido.

## 6.2 Propiedades Fisicoquímicas del Jamón Tipo York

En el Cuadro 7 se presentan las características fisicoquímicas de los jamones evaluados, en la cual se observa que los valores de pH durante los 9 días de almacenamiento, presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los días de muestreo y tratamientos, siendo los jamones AX 1% los que presentaron mayor pH para el día 0, 3 y 6 (6.52, 6.46 y 6.36). Mientras que en el día 9, los jamones comerciales y los de AX 1% presentaron el mayor pH (6.25 y 6.23, respectivamente).

Cuadro 7. Propiedades fisicoquímicas de jamón tipo York adicionado con AX.

Parámetro	Tratamientos				
	Día	Control	CAR 1%	AX 1%	Comercial
pH	0	6.26±0.04 <sup>aB</sup>	6.45±0.02 <sup>bC</sup>	6.52±0.03 <sup>cD</sup>	6.44±0.02 <sup>bD</sup>
	3	6.32±0.02 <sup>aC</sup>	6.44±0.02 <sup>cC</sup>	6.46±0.02 <sup>cC</sup>	6.39±0.01 <sup>bC</sup>
	6	6.25±0.01 <sup>aB</sup>	6.31±0.02 <sup>bB</sup>	6.36±0.03 <sup>cB</sup>	6.29±0.01 <sup>bB</sup>
	9	6.13±0.03 <sup>aA</sup>	6.15±0.02 <sup>aA</sup>	6.23±0.04 <sup>bA</sup>	6.25±0.02 <sup>bA</sup>
CRA	0	30.70±0.72 <sup>aB</sup>	33.83±1.16 <sup>bC</sup>	39.02±1.38 <sup>cA</sup>	31.79±1.23 <sup>aC</sup>
	3	27.09±1.24 <sup>aA</sup>	32.40±0.74 <sup>bC</sup>	31.00±2.47 <sup>bB</sup>	27.31±1.50 <sup>aB</sup>
	6	26.49±1.03 <sup>aA</sup>	27.92±0.69 <sup>abA</sup>	29.28±1.57 <sup>bB</sup>	26.48±0.70 <sup>aB</sup>
	9	27.81±0.93 <sup>bA</sup>	30.35±2.88 <sup>bAB</sup>	28.37±1.56 <sup>bB</sup>	24.09±1.39 <sup>aA</sup>
T2 <sub>(1)</sub> (ms)	0	52.53±0.76 <sup>cB</sup>	51.38±0.86 <sup>cC</sup>	43.10±1.98 <sup>aB</sup>	47.33±0.25 <sup>bB</sup>
	3	50.66±0.27 <sup>bA</sup>	48.26±0.83 <sup>bB</sup>	39.01±0.65 <sup>aA</sup>	40.16±3.80 <sup>aA</sup>
	6	54.36±0.88 <sup>cC</sup>	51.10±1.18 <sup>bC</sup>	41.95±0.50 <sup>aB</sup>	40.8±0.78 <sup>aA</sup>
	9	49.65±0.78 <sup>cA</sup>	44.30±0.48 <sup>bA</sup>	41.43±0.23 <sup>aB</sup>	40.81±1.97 <sup>aA</sup>
T2 <sub>(2)</sub> (ms)	0	127.83±1.47 <sup>cA</sup>	122.5±1.87 <sup>bC</sup>	136.00±1.89 <sup>dD</sup>	96.00±2.52 <sup>aB</sup>
	3	106.16±3.92 <sup>bB</sup>	120.83±1.16 <sup>cC</sup>	117.61±0.50 <sup>cB</sup>	86.66±4.88 <sup>aA</sup>
	6	114.00±3.40 <sup>bB</sup>	111.33±2.80 <sup>bA</sup>	115.33±0.81 <sup>bA</sup>	92.66±5.64 <sup>aAB</sup>
	9	108.33±9.22 <sup>bB</sup>	116.33±1.50 <sup>cB</sup>	124.50±1.37 <sup>dC</sup>	94.41±2.76 <sup>aB</sup>

Todos los valores son expresados como la media ± D.E. (n = 2). Diferentes literales entre tratamientos (minúsculas) y entre días de muestreo (mayúsculas) indican deferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

La normatividad mexicana no establece los valores de pH para jamones como productos finales, por lo tanto, se tomó como referencia el protocolo de calidad para jamón cocido (2017) de la reglamentación de la República de Argentina, que establece como adecuado un pH de 5.9–6.3. Los tratamientos de jamones con AX 1% excepto el último día se encuentran ligeramente arriba de este rango, lo que puede demostrar que los AX producen un incremento en el pH de los productos finales, lo cual puede ser atribuido a que los AX son extraídos en ambiente alcalino. Así mismo, los jamones con AX 1% se encuentran dentro del rango reportado por Frontela *et al.* (2006) que señala valores de pH para jamones cocidos entre 6.4–6.5 y ligeramente superiores a los reportados por Rico *et al.*, (2011) entre 5.96–6.41, todos tomando en cuenta el valor al día 0.

Los jamones con AX 1% presentaron un valor de pH significativamente ( $p < 0.05$ ) más elevado con respecto a los jamones control, CAR 1% y comercial en la mayoría de los días de muestreos; de acuerdo a lo reportado por Warriss (2003), el valor del pH en la carne y sus derivados es muy importante debido a que puede alterar la capacidad de retener agua de las proteínas, cuando este valor es bajo. Por lo anterior, un incremento en los valores de pH de los jamones tratados con AX 1%, pudiera ser un factor que produzca un aumento en la capacidad de retención de agua (CRA) de las proteínas cárnicas, siendo esto un aspecto positivo en la producción de jamones. Por último, es importante señalar que en los tratamientos se observaron reducciones significativas ( $p < 0.05$ ) del pH durante la vida útil. Estas reducciones van de 0.13 en los jamones control, 0.29 en los jamones comerciales, 0.29 en los jamones AX 1% y 0.30 en los jamones CAR 1%. Esto pudiera deberse a que los aditivos extensores como los AX y la CAR producen un aumento del pH porque son extraídos en medio alcalino y aunque los jamones comerciales contienen aditivos, como el bicarbonato de sodio añadido como regulador de acidez y por ende de pH (Badui, 2013). Las variaciones de pH de la carne es un tema ampliamente considerado en muchos artículos de procesamiento de jamones, en los cuales siempre se desaconseja el uso de carnes PSE y DFD para la fabricación de productos cárnicos, debido principalmente a los problemas de retención de agua y color de los jamones.

La capacidad de retención de agua (CRA) se muestra en el Cuadro 7 y con excepción del jamón control en el día 6 y el jamón comercial en el día 9, los análisis de la CRA mostraron valores que se encuentran dentro de los rangos señalados por Rico *et al.* (2011) quienes obtuvieron valores de 26.85–36.58% para jamones que fueron producidos adicionando bagazo de naranja, soya y fécula de papa. Los jamones tratados con AX 1% presentaron la CRA más alta al día 0 (39.02%), en comparación con los otros tratamientos. Mientras que, los jamones AX 1% tuvieron significativamente ( $p < 0.05$ ) una estabilidad constante en la CRA durante los días de

almacenamiento, pues sólo presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los días 0 y 3, para mantenerse significativamente iguales ( $p < 0.05$ ) durante los demás muestreos, manifestando el mismo efecto en el tratamiento control. Así mismo, se puede observar que los jamones tratados con AX 1% y CAR 1% no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en los días 3 al 9. Los valores de CRA en todos los productos analizados disminuyeron a medida que se redujo el valor del pH del producto, lo anterior refleja la dependencia de la CRA del pH. Los resultados de las determinaciones de relaxometría  $T2_{(1)}$  y  $T2_{(2)}$ . Investigaciones realizadas por Bertram y Andersen (2004), Pearce *et al.* (2011) y Li *et al.* (2012) manifiestan que la mayor velocidad de relajamiento del protón  $T2_{(1)}$  muestra al agua que se encuentra dentro de estructuras proteínicas altamente organizadas, como son las estructuras terciarias y cuaternarias con altas densidades de proteínas miofibrilares, incluyendo a los filamentos de actina y miosina (intra miofibrilar). Por otro lado, la menor velocidad de relajación  $T2_{(2)}$  representa el agua que se encuentra fuera de la red miofibrilar o extra miofibrilar. Así mismo, Balthazar *et al.* (2016) establecen que los valores de  $T2_{(1)}$  son atribuidos a protones de grasa y agua ligada y los valores de  $T2_{(2)}$  representan los protones de agua libre. El valor de  $T2_{(1)}$  de los jamones AX 1% en el día cero (43.10 ms) se encuentra dentro del rango reportado por Li *et al.* (2012), para carne de cerdo cocinada a 70 °C, con un rango de 38.68–44.53 ms. Sin embargo, en ese mismo muestreo el valor de  $T2_{(2)}$  para el jamón AX 1% (136.00 ms) resultó menor al reportado por Li *et al.* (2012) con un rango de 186.51–214.85 ms. Lo anterior se puede explicar porque hay que tomar en cuenta que la carne analizada por Li *et al.*, (2012) no contaba con la adición de aditivos extensores a diferencia de los jamones.

Los jamones con AX fueron en buena parte de los muestreos los que tuvieron los valores significativamente ( $p < 0.05$ ) más bajos de  $T2_{(1)}$  y más elevados de  $T2_{(2)}$  ( $p < 0.05$ ). Esto es de relevancia debido a que según Bertram *et al.* (2004) una mayor velocidad de relajación  $T2_{(1)}$  es atribuida a moléculas de agua estrechamente asociadas con macromoléculas y que se encuentran atrapadas en la densa red miofibrilar. Por otra parte, este autor indica que la  $T2_{(2)}$  representa el agua localizada fuera de la red de proteínas miofibrilares (agua extramiofibrilar). Por otro lado, los valores de  $T2_{(1)}$  de los jamones AX 1% y el comercial fueron significativamente iguales ( $p > 0.05$ ) en los días de muestreo del 3 al 9, lo cual indica que estos jamones podrían contener una mayor cantidad de agua ligada a las proteínas miofibrilares. Así mismo, los valores de  $T2_{(2)}$  de los jamones AX 1% y CAR 1% fueron significativamente iguales ( $p > 0.05$ ) los días 3 y 6, lo cual señala que en esos muestreos los jamones tuvieron cantidades similares de agua libre. Trabajos de investigación realizados por Pearce *et al.* (2011) señalan que un aumento en el  $T2_{(1)}$  representa un mayor tiempo de relajación del agua en el espacio

intramiofibrilar, debido al aumento entre las miofibrillas o el acortamiento de los sarcómeros de la matriz cárnica y un incremento en  $T2_{(2)}$  representa un incremento en el espacio extramiofibrilar.

Por último, es conveniente señalar la importancia y relación que tienen el pH, la capacidad de retención de agua (CRA) y los valores de relaxometría. Un menor valor de pH en la matriz cárnica produce un mayor acortamiento lateral y longitudinal de las miofibrillas, logrando de esta manera un menor espacio entre ellas y con esto una menor CRA, consecuentemente, los valores mayores de  $T2_{(1)}$  se presentan en matrices que tienen menos espacios intramiofibrilares y por lo mismo una menor CRA (Bertram-Andersen 2004). Por lo tanto, un mayor valor de pH produce un mayor valor de la CRA y con esto un menor valor de  $T2_{(1)}$  (Li *et al.*, 2012). Así mismo, Bertram *et al.* (2004) y Bertram *et al.* (2016) establece que los métodos de velocidad de relajación ( $T2$ ) están correlacionados con la CRA y con su determinación en carne fresca. Estos resultados muestran que los jamones elaborados con AX como aditivos extensores presentaron características fisicoquímicas similares y que la adición de AX en lugar de CAR en algunos casos aumenta las características positivas para la producción de cárnicos como la retención de humedad.

### 6.3 Análisis de Perfil de Textura (APT) del Jamón Tipo York

La dureza es la fuerza necesaria para conseguir una determinada deformación en el alimento (Szczeniak, 2002). Los resultados del análisis de textura se muestran en el Cuadro 8. En el caso de la dureza, no se encontraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre los tratamientos en los días de muestreo cero, tres y seis, solo el jamón comercial mostró diferencias significativas ( $p<0.05$ ) en el día 9 con respecto a los otros tratamientos. Esto puede deberse a que, con excepción del jamón comercial, los demás tratamientos fueron producidos con la misma formulación y carne, por lo que las proteínas cárnicas fueron de las mismas características. De acuerdo a lo reportado por González *et al.* (2009), la textura del jamón cocido se ve afectada por el tejido conjuntivo, humedad y estructura de la emulsión y según Restrepo-Molina *et al.* (2010), la dureza final del jamón está sujeta a la dureza de la materia prima y los efectos del procesamiento. Por lo tanto, se puede señalar que no es de extrañar que los jamones control, CAR 1% y AX 1% no presentaron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) en este parámetro. Otro aspecto importante a considerar es que la dureza disminuyó con respecto al tiempo.

Cuadro 8. Análisis de perfil de textura de jamón tipo York adicionado con AX.

Parámetros		Tratamientos			
APT	Días	Control	CAR 1%	AX 1%	Comercial
Dureza (kg)	0	2.16±0.44 <sup>aB</sup>	2.22±0.42 <sup>aB</sup>	2.02±0.18 <sup>aB</sup>	2.30±0.29 <sup>aB</sup>
	3	1.85±0.14 <sup>aA</sup>	1.87±0.14 <sup>aA</sup>	1.80±0.11 <sup>aA</sup>	1.87±0.10 <sup>aA</sup>
	6	1.85±0.13 <sup>aA</sup>	1.85±0.19 <sup>aA</sup>	1.85±0.08 <sup>aA</sup>	1.92±0.15 <sup>aA</sup>
	9	1.94±0.13 <sup>aA</sup>	1.87±0.16 <sup>aA</sup>	1.78±0.20 <sup>aA</sup>	2.14±0.32 <sup>bB</sup>
Adhesividad (g.s)	0	-3.21±0.61 <sup>abB</sup>	-3.98±1.07 <sup>aA</sup>	-3.07±1.24 <sup>bA</sup>	-2.00±0.94 <sup>cA</sup>
	3	-1.37±0.89 <sup>cC</sup>	-4.01±1.21 <sup>aA</sup>	-2.73±1.55 <sup>bA</sup>	-1.89±1.44 <sup>bcA</sup>
	6	-1.95±1.22 <sup>cC</sup>	-3.81±1.08 <sup>aA</sup>	-3.14±1.26 <sup>abA</sup>	-2.16±1.28 <sup>bcA</sup>
	9	-4.36±1.37 <sup>aA</sup>	-4.14±1.98 <sup>aA</sup>	-2.46±1.54 <sup>bA</sup>	-2.62±1.80 <sup>bA</sup>
Cohesividad	0	0.66±0.05 <sup>aA</sup>	0.65±0.05 <sup>aA</sup>	0.62±0.05 <sup>aA</sup>	0.64±0.07 <sup>aA</sup>
	3	0.71±0.02 <sup>cB</sup>	0.63±0.05 <sup>abA</sup>	0.61±0.07 <sup>aA</sup>	0.68±0.08 <sup>bcAB</sup>
	6	0.71±0.04 <sup>bcB</sup>	0.68±0.04 <sup>abA</sup>	0.65±0.05 <sup>aA</sup>	0.73±0.07 <sup>cB</sup>
	9	0.69±0.08 <sup>aAB</sup>	0.62±0.12 <sup>aA</sup>	0.64±0.08 <sup>aA</sup>	0.65±0.07 <sup>aA</sup>
Gomosidad (kg)	0	14.53±3.49 <sup>aA</sup>	14.75±3.41 <sup>aB</sup>	12.64±0.75 <sup>aB</sup>	14.73±1.67 <sup>aB</sup>
	3	13.29±1.17 <sup>cA</sup>	12.00±1.36 <sup>abA</sup>	11.10±1.56 <sup>aA</sup>	12.88±1.89 <sup>bcA</sup>
	6	13.31±1.19 <sup>bcA</sup>	12.73±1.78 <sup>abAB</sup>	12.04±1.10 <sup>aAB</sup>	14.01±1.42 <sup>cAB</sup>
	9	13.56±2.11 <sup>bcA</sup>	11.84±2.94 <sup>abA</sup>	11.49±1.27 <sup>aA</sup>	14.09±2.84 <sup>cAB</sup>
Masticabilidad (kg)	0	12.14±3.18 <sup>aA</sup>	12.26±3.19 <sup>aB</sup>	10.31±0.84 <sup>aB</sup>	12.31±1.79 <sup>aA</sup>
	3	11.14±1.45 <sup>cA</sup>	9.47±1.33 <sup>abA</sup>	8.67±1.59 <sup>aA</sup>	10.77±2.06 <sup>bcA</sup>
	6	11.09±1.35 <sup>bcA</sup>	10.19±1.88 <sup>abAB</sup>	9.43±1.16 <sup>aAB</sup>	11.94±1.63 <sup>cA</sup>
	9	11.43±2.21 <sup>bcA</sup>	9.16±3.26 <sup>abA</sup>	8.57±1.95 <sup>aA</sup>	11.60±3.36 <sup>cA</sup>

Todos los valores son expresados como la media ± D.E. (n = 2). Diferentes literales entre tratamientos (minúsculas) y entre días de muestreo (mayúsculas) indican deferencias significativas (p<0.05).

Un aspecto importante en la dureza fue la estabilidad que presentó el jamón con AX 1% durante su vida útil, pues sólo se identificaron diferencias significativas (p<0.05) del día 0 al 3 y una disminución máxima de 0.22 kg, a diferencia de los otros tratamientos que tuvieron una disminución de dureza de entre 0.31–0.43 kg. Torres *et al.* (2012) reportaron una dureza para jamones cocidos de entre 1.25–1.68 kg, tomando en cuenta lo reportado por este autor, los tratamientos de jamón obtuvieron valores de dureza ligeramente superiores. Según indican

González *et al.* (2009) que la excesiva blandura en jamón cocido es considerada como uno de los principales problemas de textura. En este caso, a pesar de que no se observó algún efecto en los jamones por la adición de extensores como los AX y los CAR en concentración del 1%, se puede indicar que la dureza obtenida fue adecuada. Además, se puede señalar que se pudo constatar que los jamones adicionados con AX se comportaron de la misma manera que los adicionados con CAR.

En cuanto a la adhesividad, que es el trabajo necesario para superar las fuerzas de atracción entre la superficie de los alimentos y la superficie de los materiales con los que está en contacto (Szczesniak, 2002), el jamón con AX 1% no mostró diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) respecto al jamón comercial en ninguno de los días de muestreo, pero sí con respecto al jamón control en los días 3 al 9 ( $p < 0.05$ ). Tampoco mostró diferencias significativas entre los días que fue analizado ( $p < 0.05$ ), esto indica que este jamón presentó estabilidad durante su vida útil, lo cual es una característica deseable. Por otro lado, la mayor adhesividad al día 0 la presentó el jamón comercial y durante los días de muestreo el jamón CAR 1% y el comercial resultaron iguales significativamente ( $p > 0.05$ ). Lo anterior puede representar que al añadir CAR a los jamones como extensor provee mayor viscosidad superficial. Se puede afirmar que, los jamones adicionados con AX exhibieron mejores características instrumentales en comparación con los adicionados con CAR en este parámetro, al presentar valores similares al jamón comercial.

En lo que respecta al valor de cohesividad, que es la medida en la que se puede deformar un material antes de que se rompa (Szczesniak, 2002), los jamones AX 1% mostraron un comportamiento significativamente similar ( $p > 0.05$ ) durante los días de almacenamiento así mismo con los valores obtenidos de los jamones CAR 1%. Investigaciones realizadas por Torres *et al.* (2012), señalan que valores de cohesividad para el jamón cocido oscilan entre 0.52–0.79, lo que significa que todos los jamones presentaron valores dentro de este rango. Por otro lado, Rico *et al.* (2011), mostró valores de cohesividad en un rango que van de 0.72–1.18, comparando con este rango, sólo los jamones control y comercial se acercaron a dichos valores. Esto puede deberse a que, en el experimento de Rico *et al.* (2011) se utilizaron diferentes combinaciones de aditivos como CAR, fécula de papa, proteína de soya y bagazo de naranja para el desarrollo de sus formulaciones. Estos datos reflejan que, al formular y producir jamones York utilizando AX como extensores se obtienen resultados similares a los que se obtienen utilizando CAR.

Los resultados del parámetro gomosidad definido como la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para ser tragado, esto es, es un producto bajo en dureza y alto en cohesión (Szczesniak, 2002), se muestran en el Cuadro 8. Los jamones AX 1% y CAR

1% no presentaron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) durante el periodo de almacenamiento, ni entre el control y el comercial ( $p>0.05$ ). Torres *et al.* (2012), reporta valores de gomosidad de entre 6.43–10.89 kg para jamón cocido, los cuales no son superiores a los obtenidos en nuestro estudio. Esta diferencia puede deberse en parte a que en esta investigación se utilizaron diferentes niveles de sal en la formulación para evaluar el efecto en sus características fisicoquímicas y desarrollar un producto bajo en sal. Adicionalmente la sal es considerada el aditivo de mayor uso en la industria cárnica, debido a que es utilizada con fines de preservación, como emulsificante, saborizante, retenedora de humedad al indicar cambios estructurales en las proteínas (Torres *et al.*, 2012).

Los resultados de masticabilidad se muestran en el mismo Cuadro 8; este se define como la energía requerida para masticar un alimento sólido para transformarlo en un estado listo para ser tragado (Szczeniak, 2002). En este Cuadro se puede observar que los jamones AX 1% mostraron significativamente ( $p>0.05$ ) los mismos valores que los jamones CAR 1% en los días de muestreo, pero si presentó diferencias ( $p<0.05$ ) con respecto al control y el comercial. Sin embargo, los jamones AX 1% no concuerdan con los resultados reportados por Torres *et al.* (2012), quienes reportaron valores entre 11.30–16.20 kg. Sólo los valores de los jamones control y comercial se encontraron dentro de ese rango. Esto puede atribuirse en parte a la variación en los niveles de sal. Sin embargo, de la misma manera que en la gomosidad, se cumplió el objetivo de lograr la inclusión de los AX sustituyendo a las CAR en la preparación de jamones York en la misma proporción de 1%.

#### 6.4 Evaluación de Color del Jamón Tipo York

La CIE (*Comission International de l'Eclairage*) (1986) define el color percibido como el atributo visual compuesto de una combinación de contenidos cromáticos y acromáticos, que depende del color físico, tamaño, forma, estructura y estímulos que le rodean, aparte del sistema visual del observador y de su experiencia. De acuerdo a Honikel (1998) el color es la característica visual de la carne que da la primera impresión crítica y que puede ser medida tanto subjetiva como instrumentalmente. Por otro lado, Tapp *et al.* (2011) señalan que las decisiones de compra de productos cárnicos están más influenciadas por la apariencia del producto que por cualquier otro factor; que el color representa la frescura percibida y es de vital importancia para la industria cárnica y la investigación científica. En el Cuadro 9 se muestran

los resultados del análisis de color de los tratamientos de jamón. Los valores de L\* de los jamones control, AX 1% y CAR 1% no presentaron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) entre ellos en todos los días de muestreo. Sin embargo, el jamón AX 1% y el comercial presentaron diferencias significativas ( $p<0.05$ ) en todos los días de muestreo. Esto se puede explicar porque las muestras de jamón comercial resultaron menos homogéneas que los demás tratamientos.

Cuadro 9. Análisis del color de jamón tipo York adicionado con AX.

Parámetros		Tratamientos			
Color	Días	Control	CAR 1%	AX 1%	Comercial
L*	0	70.16±1.51 <sup>bA</sup>	69.75±1.65 <sup>bB</sup>	69.07±1.18 <sup>bA</sup>	65.30±1.49 <sup>aAB</sup>
	3	69.38±1.92 <sup>bA</sup>	68.58±1.71 <sup>bA</sup>	68.97±1.39 <sup>bA</sup>	66.48±1.50 <sup>aBC</sup>
	6	69.20±2.03 <sup>bA</sup>	69.09±1.04 <sup>bAB</sup>	69.32±0.68 <sup>bA</sup>	64.17±1.94 <sup>aA</sup>
	9	69.78±1.59 <sup>bA</sup>	69.39±1.02 <sup>bAB</sup>	69.16±1.30 <sup>bA</sup>	66.70±1.75 <sup>aC</sup>
a*	0	5.99±0.48 <sup>abA</sup>	5.82±0.38 <sup>aA</sup>	6.41±0.52 <sup>bA</sup>	8.06±0.58 <sup>cA</sup>
	3	6.16±0.51 <sup>aA</sup>	6.62±0.53 <sup>aB</sup>	6.50±0.66 <sup>aA</sup>	7.87±0.72 <sup>bA</sup>
	6	6.27±0.60 <sup>aA</sup>	6.47±0.33 <sup>aB</sup>	6.31±0.64 <sup>aA</sup>	8.37±0.60 <sup>bA</sup>
	9	6.08±0.46 <sup>aA</sup>	6.61±0.36 <sup>bB</sup>	6.19±0.68 <sup>abA</sup>	8.37±0.57 <sup>cA</sup>
b*	0	9.09±0.69 <sup>bA</sup>	9.16±0.43 <sup>bA</sup>	12.22±0.90 <sup>cA</sup>	7.86±0.54 <sup>aAB</sup>
	3	9.29±0.72 <sup>bA</sup>	10.59±1.75 <sup>cB</sup>	10.67±1.24 <sup>cB</sup>	8.05±0.62 <sup>aB</sup>
	6	9.24±0.84 <sup>bA</sup>	11.00±2.01 <sup>cB</sup>	10.61±1.06 <sup>cB</sup>	7.36±0.57 <sup>aA</sup>
	9	9.43±0.72 <sup>bA</sup>	10.96±1.84 <sup>cB</sup>	10.55±1.16 <sup>cB</sup>	8.22±0.73 <sup>aB</sup>
C*	0	10.91±0.50 <sup>aA</sup>	10.90±0.44 <sup>aA</sup>	13.82±0.68 <sup>bC</sup>	11.27±0.62 <sup>aA</sup>
	3	11.16±0.63 <sup>aA</sup>	12.55±1.35 <sup>bB</sup>	12.50±1.38 <sup>bB</sup>	11.27±0.76 <sup>aA</sup>
	6	11.20±0.63 <sup>aA</sup>	12.81±1.69 <sup>bB</sup>	12.35±1.15 <sup>bB</sup>	11.16±0.65 <sup>aA</sup>
	9	11.24±0.53 <sup>aA</sup>	12.85±1.55 <sup>cB</sup>	12.25±1.27 <sup>bcA</sup>	11.75±0.61 <sup>abB</sup>

Todos los valores son expresados como la media ± D.E. (n = 2). Diferentes literales entre tratamientos (minúsculas) y entre días de muestreo (mayúsculas) indican deferencias significativas ( $p<0.05$ ).

Durante el almacenamiento, el jamón control y AX 1% mantuvieron estabilidad y no presentaron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) en los valores de L\*. Al comparar los valores con lo reportado por Torres *et al.* (2012), de 62.75–67.27, los jamones control, CAR 1% y AX

1% resultaron con valores de  $L^*$  superiores durante el almacenamiento, sólo el jamón comercial cumplió con este rango de  $L^*$ . Los valores de  $L^*$  de los jamones CAR 1%, AX 1% y comercial se encontraron dentro de lo reportado por Rico *et al.* (2011), con valores de entre 62.89 y 69.53 durante el almacenamiento. Por otro lado, Fernández-López *et al.* (2000) señalaron que el valor de  $L^*$  de la mayoría de los productos cárnicos curados y muchos de los cocidos se ve directamente afectado por el pH y la capacidad de retención de agua (CRA), así como la cantidad de agua superficial, por lo tanto, una mayor humedad, pH o CRA podría aumentar el valor de  $L^*$ . Así mismo, lo anterior se puede relacionar con los valores elevados que se obtuvieron en el jamón AX 1% en la CRA (39.02%) y en el pH (6.52). Tomando en cuenta los datos presentados, se comprobó que la adición de AX a jamones York presentó valores iguales significativamente ( $p > 0.05$ ) a los adicionados con CAR.

En relación a los valores de  $a^*$  o índice de rojo, los resultados mostraron que los jamones control, CAR 1% y AX 1%, durante el almacenamiento se encontraron dentro de los rangos reportados tanto por Torres *et al.* (2012) con valores de entre 5.95–8.87 y por los reportados por Rico *et al.* (2011) con valores de 4.64–8.20, ambos para jamones cocidos de carne de cerdo y medidos en la superficie. En nuestro trabajo, el jamón comercial mostró valores de  $a^*$  significativamente altos ( $p < 0.05$ ), con respecto a los otros tratamientos, lo cual puede atribuirse a que, de acuerdo a la etiqueta de dicho producto, especifica la presencia de colorante carmín, el cual aumenta el color rojo natural de la carne curada. Mientras que, en los tratamientos no comerciales, el color rojo sólo se atribuye a la mioglobina contenida en la carne y a la formación del complejo nitrosilhemocromo por acción de los nitritos que fueron añadidos en la formulación.

Por otro lado, Frontela *et al.* (2006) indicó que el valor de  $a^*$  que se considera aceptable para jamón cocido al día 0 si es  $> 6.60$ , los valores de  $a^*$  de los jamones excepto el comercial, se encontraron muy cercanos a este parámetro. Por otro lado, en su investigación los jamones que fueron analizados tuvieron valores de  $a^*$  de entre 11.10–12.10, siendo estos últimos valores muy superiores a los que se obtuvieron en esta investigación. En este mismo estudio, se realizó una encuesta a un panel de consumidores y los resultados mostraron que el color rosado y una intensidad más alta de tonalidad roja en jamones es la más aceptada.

Comparando los valores de  $b^*$  entre los tratamientos, se puede notar que los jamones AX 1% y CAR 1% no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) durante los días 3–9 y solamente en el día 0 se presentan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). Así mismo, los jamones AX 1% no mostraron cambios ( $p > 0.05$ ) en los valores de  $b^*$  a partir del día 3 y hasta el final del almacenamiento, presentando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el primer día de muestreo,

mostrando una reducción constante de los valores en todos los días de muestreo. Estos datos indican que a diferencia de los jamones AX 1% y CAR 1% analizados se comportan muy parecido, a diferencia de los jamones control y comercial con los que si se presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre ellos. En la investigación realizadas por Frontela *et al.* (2006) indican valores de  $b^*$  para jamones comerciales entre 11.9–13.8. Al considerar estos valores de referencia, los tratamientos de jamón elaborados en esta investigación se encuentran entre dichos valores.

Estudios realizados por Torres *et al.* (2012) reportaron valores de  $b^*$  o índice de amarillo para jamones cocidos entre 8.36–9.48, tomando en cuenta estos valores, los jamones control y comercial presentan valores dentro de este rango. Sin embargo, los jamones AX 1% y CAR 1% presentaron valores superiores. Esto puede deberse a que los aditivos AX y CAR otorgan tonalidad amarilla a los productos, no así en el caso del jamón control que no cuenta con aditivos, en su formulación ni incluye colorantes artificiales que puedan conferir un color diferente al de natural de las proteínas cárnicas. De acuerdo con nuestro trabajo, los valores obtenidos de los tratamientos de jamón se encuentran dentro de los rangos señalados por Rico *et al.* (2011) de 6.47–11.48; en este caso es importante señalar que los jamones analizados en este estudio fueron añadidos con bagazo de naranja y el autor señala que estos aditivos proveen un incremento en la tonalidad amarilla, lo cual puede demostrar que los aditivos pueden alterar positivamente este parámetro de color.

Por último, respecto al valor de cromaticidad ( $C^*$ ), los resultados obtenidos para los jamones AX 1% y CAR 1% se encuentran dentro del rango establecido por Frontela *et al.* (2006) de 11.9–13.8, a excepción del día 0 en el control y el CAR, teniendo por el contrario a todos los demás jamones por debajo de dicho rango. Esto significa que los jamones AX 1% y CAR 1% tienen una mayor saturación del color y que presentaron valores significativamente similares ( $p > 0.05$ ) en los días 3, 6 y 9 de almacenamiento a diferencia de los otros dos tratamientos. Estos datos revelan que la saturación de los jamones con AX se presentó de manera similar a la producida por CAR en el desarrollo y producción de jamones tipo York, fortaleciendo la hipótesis establecida. Las diferencias en color encontradas en este estudio pueden deberse a varios factores, entre los principales a los diferentes tipos de músculos utilizados (la pierna de cerdo tiene fibras musculares rojas y blancas) en las formulaciones, los ingredientes y el proceso de maduración de la carne.

## 6.5 Composición Química Proximal de las Salchichas Frankfurt

La materia prima cárnica utilizada en la elaboración de la salchicha mostró un pH normal de  $5.83 \pm 0.02$ . En la Figura 14 se pueden apreciar las salchichas previo a su cocción en el horno, mientras que, en la Figura 15 se pueden apreciar las mismas salchichas después de ser sometidas al proceso térmico. El rendimiento obtenido después de la cocción fue para las salchichas control de  $82.49 \pm 0.95\%$ , para las salchichas CAR 1% de  $91.27 \pm 0.22\%$  y para las salchichas AX 1% de  $93.24 \pm 1.11\%$ .



Figura 14. Salchichas sin cocinar.



Figura 15. Salchichas cocinadas.

La norma NMX-F-065-1984 establece un límite máximo de 70% de humedad para las salchichas. Tomando en cuenta estos valores todos los tratamientos de salchichas analizados (Cuadro 10) cumplen con este criterio, siendo el producto comercial el que presentó un mayor ( $p<0.05$ ) contenido de humedad respecto a los otros dos tratamientos y el control. Los valores de humedad de las salchichas con AX 1% y el comercial se encuentran dentro de los rangos reportados por Estévez y Cava (2006) con valores que oscilan entre 62.33–63.44%, aunque son ligeramente superiores a los reportados por Álvarez *et al.* (2011) con valores de 55.72–59.59% y a Jiménez-Colmenero *et al.* (2010) con valores de 60.60–61.96% e inferiores a los reportados por Montero *et al.* (2015) con valores de 67.03–68.38% y por Ayo *et al.* (2007) con valores de 71.78%. Todos los estudios anteriores desarrollaron salchichas Frankfurt de carne de cerdo similar a las de esta investigación. Estos datos muestran que es posible producir salchichas adicionando AX y que obtengan valores significativamente iguales a las salchichas elaboradas con CAR, siendo así mismo estos valores diferentes significativamente a los de las salchichas sin aditivos (control).

Cuadro 10. Composición química proximal de salchichas Frankfurt adicionadas con AX.

Parámetros (%)	Tratamientos			
	Control	CAR 1%	AX 1%	Comercial
<b>Humedad</b>	60.21±0.78 <sup>a</sup>	62.93±0.61 <sup>b</sup>	63.19±0.73 <sup>b</sup>	67.45±0.36 <sup>c</sup>
<b>Proteína</b>	15.64±0.40 <sup>c</sup>	14.63±0.65 <sup>b</sup>	14.12±0.68 <sup>b</sup>	9.64±0.22 <sup>a</sup>
<b>Grasa</b>	12.01±0.57 <sup>b</sup>	11.52±0.55 <sup>b</sup>	11.96±0.78 <sup>b</sup>	9.93±0.37 <sup>a</sup>
<b>Ceniza</b>	2.44±0.13 <sup>b</sup>	2.44±0.08 <sup>b</sup>	2.02±0.09 <sup>a</sup>	3.80±0.06 <sup>c</sup>
<b>Carbohidratos</b>	9.51±0.48 <sup>b</sup>	9.05±0.63 <sup>ab</sup>	8.55±0.43 <sup>a</sup>	9.15±0.37 <sup>ab</sup>
<b>Rel. humedad/proteína</b>	3.85±0.13 <sup>a</sup>	4.30±0.21 <sup>b</sup>	4.43±0.19 <sup>b</sup>	6.99±0.16 <sup>c</sup>

Todos los valores son expresados como la media ± D.E. (n = 2). Diferentes literales entre tratamientos indican deferencias significativas ( $p<0.05$ ).

En lo que respecta al porcentaje de proteínas en las salchichas, la norma mexicana NMX-F-065-1984 establece que las salchichas deben tener un mínimo de 9.5%. Todos los tratamientos de salchichas analizados cumplieron con este porcentaje, siendo el porcentaje menor ( $p<0.05$ ) el de las salchichas comerciales. El contenido de proteínas fue significativamente mayor ( $p<0.05$ ) en las salchichas control con respecto a las salchichas CAR 1% y AX 1%, las cuales

no mostraron diferencias significativas en este parámetro ( $p>0.05$ ). Lo anterior puede estar asociado a la inclusión de estos ingredientes como aditivos. Por otro lado, se desconoce cuál fue el tipo y la cantidad de proteína con la que se formularon las salchichas comerciales. La mayor cantidad de proteínas que tienen las salchichas control se puede atribuir a que tienen un menor porcentaje de humedad y estos parámetros han sido señalados por ser proporcionales, mientras uno se incrementa el otro disminuye. Los valores de proteína resultaron menores a los reportados por Montero *et al.* (2015), con valores de 18.66–19.62%. Por último, con estos resultados se puede señalar que es posible desarrollar formulaciones de salchichas con AX, debido a que mostraron un comportamiento similar a las salchichas adicionadas con CAR en un porcentaje del 1%.

En cuanto a la cantidad de grasa, la norma NMX-F-065-1984 establece que las salchichas deben tener un máximo de 30%. En nuestros resultados se puede observar que ninguno de los tratamientos analizados supera dicho porcentaje. Los valores de grasa obtenidos en este estudio fueron inferiores a los reportados por Estévez y Cava (2006), quienes mostraron valores de 18.38–18.69% para salchichas Frankfurt de carne de cerdo con adición de 10% de tejido adiposo de cerdo. De igual manera, estos valores son inferiores a los señalados por Álvarez *et al.* (2011) con valores de 22.16–27.20% al desarrollar salchichas Frankfurt de carne de cerdo con 20% de adición de grasa, aceite de canola, pasta de nuez y fibra de arroz. También son inferiores a los reportados por Montero *et al.* (2015) quienes reportaron valores de 14.50–18.40% para salchichas de carne de res y cerdo con adición de entre 13–15% de grasa de cerdo, pasta de ajonjolí y plasma sanguíneo bovino; y a los que obtuvieron Jiménez-Colmenero *et al.* (2010) quienes tuvieron valores de 16.82–19.62% en salchichas Frankfurt con carne de cerdo con adición de grasa de cerdo y aceite de oliva emulsificado.

Sin embargo, los valores obtenidos fueron similares a los que obtenidos por Ayo *et al.* (2007) con valores de 6.90–18.51% a las que se les reemplazó la grasa por pasta de nuez. Los tratamientos desarrollados en esta investigación presentaron cantidades significativamente similares de grasa ( $p>0.05$ ). Esto puede explicarse porque se desarrollaron las formulaciones utilizando 15% de grasa blanca de lomo de cerdo y carne magra de pierna a la que se le retiró la grasa superficial. Esto demuestra que el agregar AX a las formulaciones de salchichas no causa interferencia en la estabilidad de la emulsión. Lo anterior concuerda con lo reportado por Rivera-Toapanta (2016) quien señala que las fibras de cereales como los AX presentan características emulsionantes.

En cuanto a los resultados de la determinación de cenizas, se puede observar que los valores significativamente más altos fueron para las salchichas comerciales ( $p<0.05$ ) y los

significativamente más bajos ( $p < 0.05$ ) para las salchichas AX 1%. Esto puede explicarse porque las salchichas AX 1% tienen una cantidad menor de aditivos en su formulación respecto a los productos comerciales. Los tratamientos control y CAR 1% no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre ellos. Todos los tratamientos de salchichas presentaron cantidades mayores de cenizas a los obtenidos por Estévez y Cava (2006), quienes señalaron valores de 1.28–1.36% para salchichas Frankfurt de carne de cerdo que en su formulación incluyen polifosfatos, nitritos y sal. Sin embargo, los valores obtenidos para los tratamientos control, CAR 1% y AX 1% fueron inferiores al compararse con los valores de 2.48–3.14% reportados por Ayo *et al.* (2007), para salchichas Frankfurt de carne de cerdo con nitritos, sal y polifosfatos. El mismo comportamiento fue reportado por Álvarez *et al.* (2011) quienes señalaron valores de 2.75–3.06% en salchichas Frankfurt de carne de cerdo adicionadas con polifosfatos, nitritos y sal. Finalmente, tampoco concuerda con lo reportado por Jiménez-Colmenero *et al.* (2010) quienes encontraron valores de 2.95–3.05% en salchichas Frankfurt de carne de cerdo adicionadas con polifosfatos, nitritos y sal.

A pesar de que en las investigaciones mencionadas se desarrollaron los mismos tipos de salchichas y utilizaron los mismos aditivos, las diferencias pueden deberse a la variación en los porcentajes utilizados de cada aditivo y al tipo de carne empleados como las pastas de pollo y pavo que pueden aumentar las cenizas por el calcio y el fósforo. En lo que respecta a los carbohidratos, los valores obtenidos en las salchichas CAR 1% presentaron diferencias significativas con las del tratamiento control ( $p < 0.05$ ), pero no así con las salchichas CAR 1% y las comerciales ( $p > 0.05$ ). Además, estos valores estuvieron dentro de los rangos reportados por Cáceres *et al.* (2004), con valores de entre 4.06–9.25%, en esta última investigación se evaluaron salchichas cocidas de carne de cerdo con adición de fructooligosacáridos de cadena corta en proporciones entre 2–12%.

Los resultados de la composición química muestran que las salchichas con AX 1% presentaron un valor más alto de humedad, pero más bajo en proteína, sin diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) con el tratamiento CAR 1% y con diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto a los tratamientos control y comercial. El alto contenido de humedad y de cenizas en las muestras de salchichas comerciales podría indicar que estas contienen mezclas heterogéneas de polisacáridos que forman un complejo con la sal. La humedad y proteína se consideran los componentes más importantes tanto para la normativa como para la capacidad tecnológica de los productos cárnicos. La proteína es determinada por la cantidad de carne que se añade a la formulación y es en buena medida el componente que permite una buena retención de humedad. Así mismo, estos componentes en general son los que determinan la textura y de la misma

manera producen un mayor rendimiento al momento de la cocción de dichos productos.

## 6.6 Propiedades Físicoquímicas de las Salchichas Frankfurt

En el Cuadro 11 se muestran los resultados correspondientes a la evaluación físicoquímica de las salchichas adicionadas con AX 1%.

Cuadro 11. Propiedades físicoquímicas de salchichas Frankfurt adicionadas con AX.

Parámetros	Tratamientos				
	Días	Control	CAR 1%	AX 1%	Comercial
pH	0	6.80±0.03 <sup>bd</sup>	6.69±0.01 <sup>ad</sup>	6.76±0.04 <sup>bd</sup>	6.68±0.01 <sup>ac</sup>
	3	6.47±0.03 <sup>ac</sup>	6.48±0.01 <sup>ac</sup>	6.60±0.02 <sup>bc</sup>	6.51±0.03 <sup>ab</sup>
	6	6.26±0.02 <sup>bb</sup>	6.31±0.02 <sup>bcB</sup>	6.31±0.03 <sup>cb</sup>	6.04±0.03 <sup>aa</sup>
	9	6.00±0.03 <sup>ba</sup>	5.95±0.04 <sup>aa</sup>	6.03±0.02 <sup>ba</sup>	5.99±0.02 <sup>abA</sup>
CRA	0	25.32±1.32 <sup>ba</sup>	26.43±2.73 <sup>bc</sup>	25.60±3.14 <sup>bc</sup>	17.81±1.86 <sup>aa</sup>
	3	21.29±5.01 <sup>abA</sup>	25.10±2.26 <sup>bcB</sup>	23.15±0.58 <sup>bcB</sup>	18.50±1.36 <sup>aa</sup>
	6	22.31±3.68 <sup>ba</sup>	21.12±3.54 <sup>abAB</sup>	22.20±1.76 <sup>baB</sup>	17.37±1.97 <sup>aa</sup>
	9	20.80±3.65 <sup>ba</sup>	19.53±2.76 <sup>abA</sup>	19.67±1.52 <sup>abA</sup>	16.47±1.41 <sup>aa</sup>
T2(1) (ms)	0	37.08±0.38 <sup>cc</sup>	35.33±0.31 <sup>bb</sup>	32.00±0.64 <sup>ab</sup>	34.78±0.63 <sup>ba</sup>
	3	35.30±0.41 <sup>bb</sup>	34.91±1.40 <sup>bb</sup>	30.50±0.50 <sup>aa</sup>	46.38±2.45 <sup>cb</sup>
	6	33.51±0.59 <sup>ba</sup>	33.76±0.25 <sup>baB</sup>	30.00±0.25 <sup>aa</sup>	43.41±2.01 <sup>cb</sup>
	9	32.66±1.31 <sup>aa</sup>	32.40±1.79 <sup>aa</sup>	30.4±0.18 <sup>aa</sup>	44.3±2.73 <sup>bb</sup>
T2(2) (ms)	0	117.16±2.99 <sup>bc</sup>	110.83±1.94 <sup>ac</sup>	110.66±4.58 <sup>aa</sup>	117.46±1.01 <sup>bc</sup>
	3	103.00±4.33 <sup>ab</sup>	98.5±2.42 <sup>abB</sup>	98.33±1.50 <sup>ab</sup>	108.66±2.73 <sup>bb</sup>
	6	97.16±4.35 <sup>aa</sup>	96±1.41 <sup>aa</sup>	100.66±2.94 <sup>abB</sup>	105.00±2.36 <sup>ba</sup>
	9	96.50±1.64 <sup>aa</sup>	100.16±2.92 <sup>ab</sup>	114.83±3.31 <sup>ca</sup>	105.83±1.83 <sup>bb</sup>

Todos los valores son expresados como la media ± D.E. (n = 2) Diferentes literales entre tratamientos (minúsculas) y entre días de muestreo (mayúsculas) indican deferencias significativas (p<0.05).

Con respecto al pH, se puede observar una disminución significativa ( $p < 0.05$ ) en todos los tratamientos durante el tiempo de almacenamiento (del día 0 al día 9). Así mismo, los valores iniciales de pH resultaron más elevados que los reportados por Ayo *et al.* (2007) con valores entre 6.33–6.47 y también a los reportados por Jiménez-Colmenero *et al.* (2010) con valores de 5.94–6.11. Las salchichas adicionadas con AX 1% fueron significativamente iguales ( $p > 0.05$ ) los días 0, 6 y 9 a con las salchichas control, CAR 1% y comercial, respectivamente. Las salchichas AX 1% mostraron una reducción de pH similar significativamente a las CAR 1% durante el tiempo de almacenamiento. Por otro lado, las salchichas comerciales tuvieron una menor disminución del pH durante el tiempo de almacenamiento, lo cual puede explicarse porque la etiqueta del producto señala que la formulación incluye acetato y lactato de potasio, los cuales son usados como reguladores de acidez (Badui, 2013) para impedir que las salchichas pierdan sus características organolépticas y puedan durar más tiempo en buenas condiciones; sin embargo, la formulación que se desarrolló para este estudio fue sin la utilización de este tipo de aditivos, sólo se utilizaron los aditivos imprescindibles como la sal, fosfatos y nitritos.

La capacidad de retención de agua es la capacidad que describe la habilidad de los productos cárnicos para retener “su agua” en condiciones específicas y ha sido muy evaluada por los enormes beneficios económicos que implica para la industria cárnica (Zhang *et al.*, 2014). Los resultados muestran que la adición de AX aumenta la CRA durante el tiempo de almacenamiento y no se observa pérdida de esta propiedad ( $p > 0.05$ ), respecto a las salchichas formuladas con CAR 1%, aunque si es diferente ( $p < 0.05$ ) a las salchichas comerciales. Las salchichas comerciales fueron las que obtuvieron los valores más bajos de CRA durante el tiempo de almacenamiento, lo cual significa que pierde menor cantidad de agua durante ese periodo. Estudios llevados a cabo por García y Vera (2010), quienes reportaron valores de CRA entre 31.34–37.11% en salchichas, teniendo en cuenta estos valores, todos los valores obtenidos resultaron menores; sin embargo, en esa investigación las salchichas fueron cocinadas sumergidas en agua a diferencia de las de nuestro estudio, las cuales fueron cocinadas en horno. Además, las salchichas con AX 1% no mostraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) al comparar con las salchichas CAR 1% durante el almacenamiento, lo que indica que el comportamiento de los AX dentro de la matriz cárnica de las salchichas es similar al que se produce en las salchichas CAR 1%. Las salchichas con AX 1% y CAR 1% presentaron estabilidad ( $p > 0.05$ ) en relación a la CRA durante el tiempo de almacenamiento. Así mismo, Zhang *et al.* (2014) señalan que la CRA de la carne describe la habilidad de los productos cárnicos para mantener agua bajo condiciones específicas.

La distribución y movilidad del agua en los productos cárnicos puede ser investigada utilizando

la relaxometría (T2) con resonancia magnética nuclear de protones (RMN). Estos datos de los tiempos de relajación pueden revelar uno o varias poblaciones de protones (H), pudiendo ser asignados estos protones a diferentes espacios con agua, además genera información acerca de la movilidad de los protones (Møller *et al.*, 2010). Los valores de T2<sub>(1)</sub> para las salchichas AX 1% presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con respecto a los tratamientos CAR 1% y comercial en los días 0–6 de almacenamiento. Sin embargo, los valores de T2<sub>(1)</sub> para las salchichas AX 1% fueron menores ( $p < 0.05$ ) en los días 0–6, lo cual significa que esas salchichas tienen mayor velocidad de relajación de agua y por lo tanto mayor cantidad de agua intramiofibrilar, de acuerdo a lo reportado por Møller *et al.* (2010), la T2<sub>(1)</sub> representa agua atrapada en la red de miofibrillas. En base a estos resultados, se puede concluir que con respecto a los valores de T2<sub>(1)</sub>, de las salchichas con la inclusión de AX 1% se observaron los mejores valores con respecto a las salchichas con CAR 1% en todos los días excepto el nueve, así mismo se puede mencionar que las salchichas AX 1% mantuvieron una mayor estabilidad durante el almacenamiento, variando significativamente ( $p < 0.05$ ) solo entre los días cero y tres. Por otro lado, Zhang *et al.* (2014) en su investigación de resonancia magnética sobre la capacidad de retención de agua en salchichas adicionadas con acetato de almidón de yuca, señalan que los tiempos de relajación T2 permiten descubrir cómo se encuentra el agua distribuida en las salchichas.

Los valores de T2<sub>(2)</sub> de las salchichas CAR 1% y AX 1% muestran así mismo como en el caso de los valores de T2<sub>(1)</sub> son similares ( $p > 0.05$ ) durante los días 0–6. Las salchichas comerciales mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con todos los demás tratamientos excepto el día cero y seis, en los cuales resultaron significativamente iguales con los tratamientos control y AX 1%. En este caso, las salchichas que mostraron valores más altos de T2<sub>(2)</sub> fueron las del control y las comerciales; según Møller *et al.* (2010), la T2<sub>(2)</sub> representa el agua con más movilidad ubicada en los espacios extramiofibrilares, lo cual significa que dichas salchichas tienen una mayor cantidad de agua extramiofibrilar. Sin embargo, es importante señalar que las salchichas CAR 1% y AX 1% obtuvieron valores significativamente similares ( $p > 0.05$ ), por lo cual se puede señalar que, al adicionar AX a la matriz de productos cárnicos emulsionados como las salchichas, se logran obtener productos que tienen una cantidad de agua similar en los espacios extramiofibrilares.

## 6.7 Análisis de Perfil de Textura (APT) de las Salchichas Frankfurt

Los resultados relacionados con a las determinaciones del análisis de perfil de textura se muestran en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Análisis de perfil de textura de salchichas Frankfurt adicionadas con AX.

Parámetros		Tratamientos			
APT	Días	Control	CAR 1%	AX 1%	Comercial
Dureza (kg)	0	1.73±0.07 <sup>ba</sup>	1.77±0.09 <sup>abA</sup>	1.71±0.06 <sup>aA</sup>	1.82±0.15 <sup>ba</sup>
	3	1.78±0.15 <sup>aA</sup>	1.75±0.17 <sup>aA</sup>	1.75±0.08 <sup>aA</sup>	1.85±0.11 <sup>aA</sup>
	6	1.75±0.16 <sup>aA</sup>	1.97±0.17 <sup>bb</sup>	1.79±0.18 <sup>aA</sup>	1.88±0.15 <sup>abA</sup>
	9	1.76±0.05 <sup>aA</sup>	1.84±0.13 <sup>ba</sup>	1.72±0.05 <sup>aA</sup>	1.80±0.12 <sup>abA</sup>
Adhesividad (g.s)	0	0.07±0.39 <sup>ba</sup>	0.13±0.39 <sup>ba</sup>	-2.26±2.08 <sup>aA</sup>	-3.31±2.87 <sup>ab</sup>
	3	0.17±0.59 <sup>ca</sup>	0.29±0.33 <sup>caB</sup>	-2.99±3.00 <sup>ba</sup>	-6.61±5.04 <sup>aA</sup>
	6	0.15±0.31 <sup>ca</sup>	0.37±0.09 <sup>cb</sup>	-1.57±2.14 <sup>ba</sup>	-3.93±2.91 <sup>aAB</sup>
	9	0.24±0.17 <sup>ca</sup>	0.35±0.12 <sup>caB</sup>	-1.80±1.80 <sup>ba</sup>	-3.23±2.53 <sup>ab</sup>
Cohesividad	0	0.70±0.07 <sup>abA</sup>	0.75±0.04 <sup>bb</sup>	0.66±0.07 <sup>aA</sup>	0.80±0.02 <sup>cb</sup>
	3	0.68±0.07 <sup>ba</sup>	0.72±0.03 <sup>cbAB</sup>	0.62±0.06 <sup>aA</sup>	0.76±0.03 <sup>ca</sup>
	6	0.72±0.05 <sup>ba</sup>	0.73±0.03 <sup>cbAB</sup>	0.64±0.07 <sup>aA</sup>	0.77±0.03 <sup>ca</sup>
	9	0.70±0.04 <sup>ba</sup>	0.70±0.5 <sup>ba</sup>	0.65±0.06 <sup>aA</sup>	0.80±0.02 <sup>cb</sup>
Gomosidad (kg)	0	12.04±1.23 <sup>aA</sup>	13.25±0.92 <sup>ba</sup>	11.35±1.07 <sup>aA</sup>	14.60±1.11 <sup>ca</sup>
	3	12.20±1.15 <sup>ba</sup>	12.63±1.09 <sup>ba</sup>	10.86±0.93 <sup>aA</sup>	14.17±1.09 <sup>ca</sup>
	6	12.20±0.81 <sup>aA</sup>	12.92±1.18 <sup>aA</sup>	12.82±2.41 <sup>ab</sup>	16.16±1.74 <sup>bb</sup>
	9	12.37±0.63 <sup>ba</sup>	12.90±0.80 <sup>ba</sup>	11.32±1.00 <sup>aA</sup>	14.55±0.85 <sup>ca</sup>
Masticabilidad (kg)	0	9.29±1.32 <sup>ba</sup>	10.99±0.94 <sup>ca</sup>	8.08±1.30 <sup>aA</sup>	12.57±0.97 <sup>da</sup>
	3	9.82±1.15 <sup>ba</sup>	10.10±1.43 <sup>ba</sup>	7.81±0.96 <sup>aA</sup>	12.24±0.85 <sup>ca</sup>
	6	9.84±0.76 <sup>aA</sup>	13.14±2.59 <sup>bb</sup>	8.65±1.38 <sup>aA</sup>	12.41±1.00 <sup>ba</sup>
	9	9.97±0.72 <sup>ba</sup>	10.56±0.77 <sup>ba</sup>	8.20±1.28 <sup>aA</sup>	12.41±0.84 <sup>ca</sup>

Todos los valores son expresados como la media ± D.E. (n = 2). Diferentes literales entre tratamientos (minúsculas) y entre días de muestreo (mayúsculas) indican deferencias significativas (p<0.05).

Se puede apreciar que la inclusión de AX en las formulaciones de salchichas Frankfurt da como resultado un producto con una dureza significativamente similar ( $p > 0.05$ ) con respecto al tratamiento con CAR 1% en los días 0 y 3; sin embargo, para los días seis y nueve, existen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre dichos valores. Esto puede deberse a la deshidratación del producto con CAR 1%, pues muestra mayor dureza ( $p < 0.05$ ) en los últimos días de almacenamiento, a diferencia de las salchichas AX 1% que muestran una estabilidad significativa ( $p > 0.05$ ) en su dureza durante los días de almacenamiento, de la misma manera que las salchichas comerciales. Investigaciones realizadas por García y Vera (2010), quienes reportaron valores de dureza de 0.60–1.16 kg para salchichas, sus resultados se encuentran muy por debajo de los obtenidos en esta investigación.

Una dureza alta de productos de este tipo puede llevar a una baja aceptabilidad por parte de los consumidores; comportamiento que puede deberse al aumento en la carga total de las proteínas cárnicas, lo que permite interacciones electrostáticas con los polisacáridos, facilitando la formación de geles con mejores propiedades tecnológicas y ser relacionada con la cantidad de humedad, capacidad de retención de agua y la velocidad de relajación del protón. Por otro lado, Zhang *et al.* (2014) señalaron que la CRA en salchichas tiene influencia en las propiedades sensoriales y texturales y que los consumidores prefieren salchichas con más alta CRA y mayor vida de anaquel.

Los valores de adhesividad muestran que las salchichas comerciales seguidas de las tratadas con AX 1% presentaron la mayor adhesividad en todos los días del muestreo, siendo significativamente ( $p < 0.05$ ) diferentes a los demás tratamientos en todos los días de muestreo. Estos resultados eran de esperarse al conocer la naturaleza de los AX, pues en los antecedentes se señala que son compuestos que forman soluciones muy viscosas y que pueden retener una gran cantidad de agua, por lo tanto no es de extrañar que esas características se manifiesten en las salchichas; sin embargo, también es importante señalar que las salchichas con AX 1% tuvieron menor adhesividad ( $p < 0.05$ ) que las salchichas comerciales y que durante los días de almacenamiento permanecieron sin cambio ( $p > 0.05$ ) en este parámetro. Montero *et al.* (2015) señalaron valores de adhesividad de -0.16–0.18 en salchichas al día 0 de almacenamiento; estos valores de referencia resultaron mayores que los que presentaron las salchichas AX 1% y las comerciales y menores a las salchichas CAR 1%

En lo que respecta a la cohesividad, estudios realizados por Pérez *et al.* (2012), establecieron valores para cohesividad de 0.21–0.35 para este parámetro en salchichas cocidas. Todos los valores obtenidos en esta investigación resultaron mayores, lo cual significa que las salchichas elaboradas tienen una mayor cohesividad en su matriz emulsionada, siendo las comerciales las

que obtuvieron valores significativamente mayores ( $p < 0.05$ ). Por otro lado, García y Vera (2010) reportaron valores de cohesividad de 0.70–1.16, y teniendo en cuenta estos valores de referencia, los valores obtenidos en esta investigación se encuentran dentro de este rango, con excepción de las salchichas AX 1% que presentaron valores inferiores, lo cual puede relacionarse con la mayor adhesividad y la menor dureza que estas salchichas presentaron en el análisis de perfil de textura. A pesar de que las salchichas adicionadas con AX 1% mostraron valores menores de dureza y cohesividad, puede observarse que durante el tiempo de almacenamiento estas salchichas no presentaron cambios ( $p > 0.05$ ) significativamente importantes.

Respecto a la evaluación de la gomosidad, las salchichas con AX 1% presentaron los valores más bajos ( $p < 0.05$ ) con respecto a los demás tratamientos, a excepción del día 6 cuando mostraron valores iguales ( $p > 0.05$ ) con respecto a las salchichas CAR 1%. Las salchichas AX 1% presentaron estabilidad ( $p > 0.05$ ) durante los días 0, 3 y 9 del almacenamiento, sólo en el día 6 se presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en este tratamiento. Este parámetro es importante, ya porque se pretende obtener un producto que mantenga lo más posible sus características organolépticas durante el tiempo de almacenamiento, por lo tanto, al adicionar AX a las salchichas se ha logrado mantener su gomosidad durante el mayor tiempo del almacenamiento al vacío en refrigeración.

En el último parámetro del análisis de perfil de textura, la masticabilidad de las salchichas con AX 1% presentaron los valores más bajos, presentando diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) contra los demás tratamientos en los días de almacenamiento 0, 3 y 9. Montero *et al.* (2015) en su investigación con salchichas adicionadas con pasta de ajonjolí y plasma sanguíneo de bovino, señalaron valores de masticabilidad entre 7.14–25.81 kg. Por lo que, tomando como referencia estos valores los tratamientos durante el almacenamiento presentaron valores dentro de este rango. Finalmente, es importante señalar que de manera similar como en la gomosidad, las salchichas con AX presentaron estabilidad significativa ( $p > 0.05$ ) en este parámetro durante todos los días de muestreo.

## 6.8 Evaluación de Textura de las Salchichas por Warner-Bratzler

En el Cuadro 13 se muestran los valores de dureza máxima determinadas por la evaluación de textura utilizando el accesorio Warner-Bratzler llevada a cabo a las salchichas. Esta prueba,

para determinar el esfuerzo al corte, fue diseñada para establecer la fuerza de resistencia a la compresión-tensión ejercida por la navaja Warner-Bratzler, mediante la que se simula la acción de los dientes incisivos al morder (García y Vera, 2010). En los resultados obtenidos en esta investigación se puede observar que los valores de las salchichas tratadas con AX 1% obtuvieron los resultados más bajos ( $p < 0.05$ ) en comparación con los otros tratamientos; sin embargo, estos valores son similares ( $p > 0.05$ ) a los obtenidos para las salchichas comerciales, lo cual demuestra que estas salchichas pueden competir con productos comerciales. Estudios realizados por García y Vera (2010), quienes señalan que obtuvieron valores promedio de 1.08 kg de fuerza máxima en salchichas cocidas adicionadas con harina de cáscara de naranja como extendedor, valores que son inferiores a lo obtenido en nuestro estudio. Estas diferencias pueden deberse a que en esa investigación las salchichas fueron cocinadas sumergidas en agua caliente, por lo cual, esas salchichas se pudieron haber deshidratado menos que al ser cocinadas en el horno con etapas de calor seco y húmedo como se realizó en la presente investigación.

Cuadro 13. Análisis Warner-Bratzler de salchichas Frankfurt adicionadas con AX.

Parámetros	Tratamientos				
	Días	Control	CAR 1%	AX 1%	Comercial
Fuerza máxima (kg)	0	1.36±0.26 <sup>bA</sup>	1.80±0.19 <sup>cB</sup>	1.29±0.24 <sup>bB</sup>	1.06±0.11 <sup>bA</sup>
	3	1.61±0.43 <sup>bA</sup>	1.82±0.25 <sup>bB</sup>	1.13±0.13 <sup>aAB</sup>	1.18±0.06 <sup>aB</sup>
	6	1.55±0.40 <sup>bA</sup>	1.52±0.44 <sup>bA</sup>	1.09±0.20 <sup>aA</sup>	1.09±0.10 <sup>aA</sup>
	9	1.50±0.23 <sup>bA</sup>	1.88±0.31 <sup>cB</sup>	1.09±0.16 <sup>aA</sup>	1.21±0.07 <sup>aB</sup>

Todos los valores son expresados como la media  $\pm$  D.E. ( $n = 2$ ). Diferentes literales entre tratamientos (minúsculas) y entre días de muestreo (mayúsculas) indican deferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

### 6.9 Evaluación de Color de las Salchichas Frankfurt

Respecto a la evaluación del color de las salchichas Frankfurt, en el Cuadro 14 se muestran los datos obtenidos y analizados:

Cuadro 14. Evaluación del color de salchichas Frankfurt adicionadas con AX.

Parámetros		Tratamientos			
Color	Días	Control	CAR 1%	AX 1%	Comercial
L*	0	46.48±0.88 <sup>aA</sup>	47.71±2.05 <sup>bB</sup>	50.51±1.08 <sup>cB</sup>	55.15±0.94 <sup>dA</sup>
	3	46.80±1.29 <sup>aAB</sup>	46.43±0.91 <sup>aA</sup>	50.03±0.54 <sup>bAB</sup>	55.04±1.03 <sup>cA</sup>
	6	47.64±1.19 <sup>aB</sup>	47.65±1.40 <sup>aAB</sup>	50.11±1.11 <sup>bAB</sup>	55.05±1.27 <sup>cA</sup>
	9	47.46±0.63 <sup>aB</sup>	47.17±1.48 <sup>aAB</sup>	49.68±0.72 <sup>bA</sup>	55.13±1.26 <sup>cA</sup>
a*	0	18.84±0.67 <sup>cB</sup>	17.53±0.76 <sup>bB</sup>	15.19±2.01 <sup>aA</sup>	21.39±0.66 <sup>cB</sup>
	3	17.71±0.65 <sup>aA</sup>	17.30±0.64 <sup>aB</sup>	15.05±1.42 <sup>bA</sup>	20.81±0.77 <sup>cAB</sup>
	6	17.76±0.84 <sup>bA</sup>	17.40±0.61 <sup>bB</sup>	14.56±1.57 <sup>aA</sup>	20.72±0.92 <sup>cA</sup>
	9	17.61±0.57 <sup>cA</sup>	16.68±0.71 <sup>bA</sup>	14.65±1.65 <sup>aA</sup>	21.03±0.55 <sup>dAB</sup>
b*	0	20.29±0.87 <sup>bB</sup>	20.18±0.76 <sup>bB</sup>	19.76±0.54 <sup>aB</sup>	26.27±0.37 <sup>bAB</sup>
	3	19.59±0.87 <sup>aA</sup>	19.68±0.63 <sup>aAB</sup>	18.77±0.63 <sup>bA</sup>	26.27±0.55 <sup>cAB</sup>
	6	19.98±0.60 <sup>bAB</sup>	19.99±0.74 <sup>bB</sup>	18.82±0.54 <sup>aA</sup>	26.10±0.68 <sup>cA</sup>
	9	19.97±0.62 <sup>cAB</sup>	19.29±0.64 <sup>bA</sup>	18.88±0.64 <sup>aA</sup>	26.56±0.51 <sup>dB</sup>
C*	0	27.69±1.01 <sup>cB</sup>	26.74±0.99 <sup>bB</sup>	24.99±0.96 <sup>aB</sup>	33.88±0.55 <sup>dB</sup>
	3	26.42±0.91 <sup>bA</sup>	26.21±0.75 <sup>bAB</sup>	24.09±0.90 <sup>aA</sup>	33.52±0.47 <sup>cAB</sup>
	6	26.74±0.82 <sup>bA</sup>	26.51±0.91 <sup>bB</sup>	23.83±0.88 <sup>aA</sup>	33.33±0.98 <sup>cA</sup>
	9	26.63±0.69 <sup>cA</sup>	25.51±0.84 <sup>bA</sup>	23.93±1.29 <sup>aA</sup>	33.88±0.40 <sup>dB</sup>

Todos los valores son expresados como la media ± D.E. (n = 2) Diferentes literales entre tratamientos (minúsculas) y entre días de muestreo (mayúsculas) indican deferencias significativas (p<0.05).

En relación al primero de los parámetros, se puede observar que el valor de L\* o luminosidad en el día 0 los valores obtenidos fueron menores a los reportados por Méndez-Zamora (2015), quien obtuvo como resultado valores de 64.14–66.78 en salchichas adicionadas con fructooligosacáridos. Además, los resultados del presente estudio fueron inferiores a los reportados por Álvarez *et al.* (2011) con valores de 72.93–78.18 y a los obtenidos por Jiménez-Colmenero *et al.* (2010) de 73.41–75.22. Por otro lado, Cáceres *et al.*, (2004) obtuvieron valores de L\* de 41.74–46.15, tomando en cuenta este rango se observa que los jamones CAR 1%, AX 1% y el comercial presentaron valores superiores en todos los días de almacenamiento. Estas diferencias pueden deberse a que en las dos últimas investigaciones el objetivo fue el cambiar la grasa utilizada en las salchichas por grasas vegetales, fibra de arroz, pasta de nueces y

fructooligosacáridos y no tanto el procurar mayor humedad en los productos.

Según se ha establecido en la presentación y discusión de resultados del jamón, la luminosidad se relaciona con la mayor capacidad de retención de agua y mayor porcentaje de humedad en las matrices de los productos cárnicos. Debido a lo anterior también es importante indicar que las salchichas AX 1% mostraron valores altos ( $p < 0.05$ ) de luminosidad con respecto a las salchichas CAR 1%, como un mayor contenido de humedad y CRA.

Analizando los valores de  $a^*$  o índice de rojo se puede señalar que en las salchichas control, CAR 1% y comerciales, este valor fue decreciendo a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento. ( $p < 0.05$ ). Además, se puede observar que los valores obtenidos en la presente investigación fueron superiores a los reportados por Álvarez *et al.* (2011) quienes obtuvieron valores de 4.89–6.87. Estos valores inferiores pueden deberse a que adicionaron con pasta de nuez en la formulación de salchichas. De igual forma resultaron superiores con respecto a los reportados por Jiménez-Colmenero *et al.* (2010) con valores de 2.96–4.37 y por Méndez *et al.* (2015) con valores de 9.21–10.08, todos ellos en desacuerdo con los resultados del presente estudio.

Por otro lado, Cáceres *et al.* (2004), reportaron valores de  $a^*$  superiores a los nuestros (24.81–27.06), debido al tipo de aditivos que se incluyeron en las salchichas de esas investigaciones. Estos valores muestran que las salchichas con mayor tendencia al color rojo fueron las salchichas comerciales, esto se puede explicar porque este tipo de productos comerciales tienen en sus formulaciones colorantes para tener un color estandarizado en sus productos, siendo que las formulaciones de esta investigación solo cuentan con pimentón natural molido que podría dar ese color y la reacción de los nitritos con la mioglobina. Adicionalmente, en lo que respecta al valor de  $a^*$ , se puede notar la estabilidad que tuvieron las salchichas AX 1%, sin mostrar diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) durante los días de almacenamiento, a diferencia de los demás tratamientos.

Los resultados del índice de amarillo ( $b^*$ ), muestran que los valores en todos los días de muestreo fueron superiores a los obtenidos por Álvarez *et al.* (2011) con valores de 11.48–12.89 y así mismo, con respecto a los obtenidos por Jiménez-Colmenero *et al.* (2010) con valores de 8.81–12.29. Cáceres *et al.* (2004), desarrollaron salchichas añadiendo inulina y pectina en su formulación y obtuvieron valores de  $b^*$  de 5.62–7.00. Tomando estos últimos valores como referencia, las salchichas de este experimento resultaron muy por debajo. Estas diferencias pueden ser debidas al bajo porcentaje de grasa añadida y a la incorporación de AX y CAR a las formulaciones de los tratamientos que pudieron haber alterado el color a las salchichas, reduciendo el rojo y aumentando el amarillo. Así mismo se puede señalar que las

salchichas AX 1% no presentaron diferencias ( $p>0.05$ ) durante los días tres, seis y nueve de almacenamiento, a diferencia de los otros tratamientos de salchichas.

Finalmente, se puede observar que las salchichas AX 1% presentaron diferencias significativas ( $p<0.05$ ) con respecto a los demás tratamientos en el valor de cromaticidad o saturación del color ( $C^*$ ). Sin embargo, y al igual que el índice de amarillo ( $b^*$ ), la  $C^*$  mantuvo estabilidad significativa durante los días tres, seis y nueve, comportándose de la misma manera que las salchichas control, pero diferente a los otros dos tratamientos que presentaron diferencias significativas en la cromaticidad durante esos días de almacenamiento. Cáceres *et al.* (2004), obtuvieron valores de 25.50–27.92 para el parámetro de cromaticidad en salchichas. Tomando en cuenta este rango de valores de referencia, los tratamientos CAR 1% y AX 1% se encuentran entre esos valores, las salchichas AX 1% se encuentran ligeramente más abajo y las salchichas comerciales se encuentran por arriba.

## 7. CONCLUSIONES

- 1) La utilización de arabinosilanos ferulados de maíz como extensores en jamones de carne de pierna de cerdo se logra desarrollar un producto que cumple con las normas mexicanas para jamón fino y con las normas colombiana, argentina y española para jamón cocido.
- 2) Al adicionar jamones de carne de pierna de cerdo con arabinosilanos ferulados de maíz o carrageninas se observa un aumento en el pH.
- 3) Los arabinosilanos ferulados de maíz en las formulaciones de jamón de carne de pierna de cerdo produjeron una adecuada retención de humedad.
- 4) Los jamones de carne de pierna de cerdo con carrageninas presentaron más humedad que los elaborados con arabinosilanos ferulados de maíz.
- 5) Los jamones de carne de pierna de cerdo adicionados con arabinosilanos ferulados de maíz logran formar una matriz estable con las proteínas cárnicas de manera similar a los que fueron adicionados con carrageninas.
- 6) La relación humedad-proteína de los jamones de carne de pierna de cerdo con arabinosilanos ferulados de maíz es superior a la establecida por la legislación española, pero tiene un valor muy cercano al de la normatividad argentina, ambas para jamón cocido.
- 7) Los parámetros del análisis de perfil de textura no son buenos indicadores para la diferenciación de características de jamones. Pues en buena medida los valores obtenidos resultaron sin diferencias significativas.
- 8) La adición de extensores como los arabinosilanos ferulados de maíz y las carrageninas producen jamones con mayor intensidad en el valor  $b^*$  o índice de amarillo y de cromaticidad, produciendo jamones con una mayor saturación de color.
- 9) Utilizando arabinosilanos ferulados de maíz como extensores en salchichas de carne de pierna de cerdo y carne de res se logra confeccionar un producto que cumple con las normas mexicanas para salchichas tipo Frankfurt.
- 10) Las salchichas producidas con arabinosilanos ferulados de maíz adicionados como extensores tienen buena estabilidad en el color durante el almacenamiento.
- 11) La humedad, proteína y grasa de las salchichas adicionadas con carragenina es similar que las elaboradas con arabinosilanos ferulados de maíz.
- 12) Las salchichas con arabinosilanos ferulados de maíz presentan mayor velocidad de relajación  $T2_{(1)}$ , lo cual significa que esas matrices cárnicas cuentan con mayor cantidad de agua intra miofibrilar.

- 13) La prueba de resistencia al corte provee datos más adecuados para analizar las salchichas que la prueba de perfil de textura.
- 14) Los aditivos como los arabinosilanos ferulados de maíz pueden cambiar el color de los productos cárnicos a los que se les agregan, además del pH y otras características químicas y fisicoquímicas.
- 15) El análisis de relaxometría  $T2_{(1)}$  y  $T2_{(2)}$  proveen datos importantes respecto al agua intra miofibrilar (agua ligada) y extra miofibrilar (agua libre) de jamones y salchichas.
- 16) El pH, la capacidad de retención de agua, los tiempos de relajación y la luminosidad de los productos cárnicos puede relacionarse entre sí.
- 17) Al aumentar el pH en una preparación cárnica, se puede producir un aumento en la capacidad de retención de agua, así mismo, de humedad y de luminosidad.
- 18) Se comprueba la hipótesis, de que es posible desarrollar formulaciones de salchichas Frankfurt y jamón tipo York con características similares a los desarrollados con carrageninas. Inclusive en algunos parámetros, los embutidos elaborados con arabinosilanos ferulados de maíz resultaron con mejores valores que los mostrados en los que incluyen carrageninas y que los comerciales

## 8. RECOMENDACIONES

- 1) Es recomendable llevar a cabo más estudios utilizando otros tipos de arabinosilanos ferulados que sean de otro origen: trigo, centeno, avena, cebada, etc.
- 2) Es recomendable llevar a cabo más estudios utilizando arabinosilanos ferulados de maíz que cuenten con otros grados de ferulización, para constatar las diferentes interacciones que pueda tener el ácido ferúlico con las proteínas cárnicas.
- 3) Es recomendable realizar pruebas utilizando agentes gelificantes en los arabinosilanos ferulados de maíz con la lacasa, para lograr una gelificación oxidativa antes de añadirlos a las formulaciones de productos cárnicos.
- 4) Es recomendable realizar pruebas en otros tipos de productos cárnicos, tanto frescos como cocidos o curados. Por ejemplo: mortadela, chorizo, hamburguesas, jamón inyectado, tocino, longaniza, bolonia, pastel de pollo, salchichas viena, jamón curado en seco, etc. Variando los porcentajes de grasa, tipos de proteínas (soya, gluten, carne de ave, carne de borrego, etc.), así como los procedimientos de fabricación y cocción. Con esto se podría constatar el comportamiento de los arabinosilanos ferulados de maíz en matrices con diferentes características.
- 5) Es recomendable llevar a cabo otros estudios como microscopia con focal, resonancia magnética nuclear de campo alto con imagen, pruebas de antioxidantes, etc. con el objetivo de dilucidar más a fondo las interacciones en las matrices cárnicas, ubicar a los arabinosilanos ferulados de maíz más específicamente en la red proteínica y las probables propiedades antioxidantes que pudieran tener los arabinosilanos ferulados de maíz.
- 6) Es recomendable realizar las formulaciones de los productos cárnicos a elaborar con otros aditivos como reguladores de pH, colorantes, antioxidantes, antimicrobianos, estabilizantes, etc. para constatar el comportamiento de los arabinosilanos ferulados de maíz en dichas matrices más complejas.
- 7) Es recomendable llevar a cabo el experimento añadiendo análisis microbiológicos para revisar la inocuidad de los productos ya las posibles alteraciones que podrían provocar el uso de arabinosilanos ferulados de maíz en los productos cárnicos, esto debido principalmente a que los arabinosilanos ferulados de maíz son carbohidratos y son conocidos por sus propiedades prebióticas.
- 8) Es recomendable llevar a cabo un estudio de digestión in vitro para constatar la presencia de los arabinosilanos ferulados de maíz después de la digestión y que puedan de esa manera

llevar a cabo su función como prebióticos.

- 9) Es recomendable llevar a cabo estudios para determinar más específicamente la interacción de las proteínas miofibrilares (actina y miosina) con los arabinosilanos.
- 10) Es recomendable llevar a cabo análisis sensoriales con panel no entrenado y entre consumidores para poder correlacionar los valores de los análisis instrumentales de color y textura de los productos cárnicos que se lleven a cabo.
- 11) Es recomendable realizar formulaciones que incluyan a los arabinosilanos ferulados de maíz y algún o algunos otros extensores, ya sea carragenina, algún tipo de goma, almidón, colágeno, etc. para revisar si existe sinergia entre estos componentes o se limitan uno al otro.
- 12) Es recomendable llevar a cabo estudios utilizando los arabinosilanos ferulados de maíz en productos cárnicos variando las concentraciones.
- 13) Es recomendable llevar a cabo un experimento con diseño de superficie de respuesta, con el objetivo de optimizar la concentración para el mejor funcionamiento dentro de las matrices de los productos cárnicos.

## 9. REFERENCIAS

- Álvarez D., Delles R.M., Xiong Y.L., Castillo M., Payne F.A., Laencina J. (2011). Influence of canola-olive oils, rice bran and walnut on functionality and emulsion stability of frankfurters. *LWT-Food Science and Technology*, 44(6): 1435-1442 pp. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.01.006>
- Astiasarán I., Martínez J.A. (2003). *Alimentos. Composición y propiedades*. Segunda reimpresión. México, D.F.: Editorial McGraw-Hill interamericana.
- Autio K. (2006). Functional aspects of cereal cell-wall polysaccharides. In: *Carbohydrates in Food*. A-C Eliasson (ed). CRC-Taylor & Francis. Boca Raton, FL. 167-207 pp.
- Ayadi M., Kechaou A., Makni I., Attia H. (2009). Influence of carrageenan addition on turkey meat sausages properties. *Journal of Food Engineering* 93(3): 278-283 pp. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.01.033>
- Ayo J., Carballo J., Serrano J., Olmedilla-Alonso B., Ruiz-Capillas C., Jiménez-Colmenero F. (2007). Effect of total replacement of pork backfat with walnut on the nutritional profile of frankfurters. *Meat Science*, 77(2): 173-181 pp. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.02.026>
- Badui S. (2013). *Química de los Alimentos*. 4 ta. Edición. México DF, México: Pearson.
- Balthazar C.F., Silva H.A., Vieira A.H., Neto R.P.C., Cappato L.P., Coimbra P.T., Freitas M. Q. (2017). Assessing the effects of different prebiotic dietary oligosaccharides in sheep milk ice cream. *Food Research International* 91:38-46 pp. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.11.008>
- Barrón G.O.Y. (2016) Producción de arabinoxilanos de pericarpio de maíz mediante el uso de solventes, cavitación hidrodinámica y tratamiento enzimático. Tesis de maestría. Universidad autónoma de Querétaro.
- Bertram H. C. (2016). 1 H NMR Relaxometry in meat science. *Modern Magnetic Resonance*, 1-14 pp.
- Bertram H.C., Andersen H.J. (2004). Applications of NMR in meat science. *Annual reports on NMR spectroscopy*. 53. 157-202 pp. [https://doi.org/10.1016/S0066-4103\(04\)53003-X](https://doi.org/10.1016/S0066-4103(04)53003-X)
- Bertram H.C., Engelsen S.B., Busk H., Karlsson A.H., Andersen H.J. (2004). Water properties during cooking of pork studied by low-field NMR relaxation: effects of curing and the RN-gene. *Meat Science*, 66(2): 437-446 pp. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00132-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00132-3)
- Bratzler L. J. (1932). Measuring the tenderness of meat by means of a mechanical shear. M. S. Thesis. Kansas State University, Manhattan.
- Bratzler L. J. (1949). Determining the tenderness of meat by use of the Warner-Bratzler method. *Proc. Recip. Meat Conf.* 2. 117-121 pp.
- Bratzler L. J., (1954). Using the Warner-Bratzler Shear. *Proc. Recip. Meat Conf.* 7. 154-160 pp.
- Broekaert W.F., Courtin C.M., Verbeke K., Van de Wiele T., Verstraete W., Delcour J.A. (2011). Prebiotic and Other Health-Related Effects of Cereal-Derived Arabinoxylans, Arabinoxylan-Oligosaccharides, and Xylooligosaccharides. *Critical Reviews in Food*

- Science and Nutrition 51: 178-194 pp. <https://doi.org/10.1080/10408390903044768>
- Cáceres E., García M.L., Toro J., Selgas M.D. (2004). The effect of fructooligosaccharides on the sensory characteristics of cooked sausages. *Meat Science*, 68(1): 87-96 pp. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.02.008>
- Cáffaro-Tommasiello E.M., Latorre M.E., Cepeda R.E., Garitta L., Sosa M., Purslow P.P. (2018). Valoración de aspectos vinculados al consumo, calidad y seguridad de la carne, en consumidores argentinos de carne. *Idesia (Arica)*, 36(3): 45-52 pp. ISSN 0718-3429
- Carvajal-Millán E., Guigliarelli B., Belle V., Micard V. (2005b). Storage stability of arabinoxylan gels. *Carbohydrate Polymers*, 59: 181-188 pp. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.09.008>
- Carvajal-Millán E., Guilbert S., Morel M.H., Micard V. (2005c). Impact of the structure of arabinoxylan gels on their rheological and protein transport properties. *Carbohydrate Polymers*, 60: 431-438 pp. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2005.02.014>
- Carvajal-Millán E., Landillon V., Morel M.H., Rouau X., Doublier J.L., Micard V. (2005a). Arabinoxylan gels: impact of feruloylation degree on their structure and properties. *Biomacromolecules*, 6:309-317 pp. <https://doi.org/10.1021/bm049629a>
- Carvajal-Millán E., Rascón-Chu A., Márquez-Escalante J.A., Micard V., de León N.P., Gardea A. (2007). Maize bran gum: extraction, characterization and functional properties. *Carbohydrate Polymers*, 69: 280-285 pp. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.10.006>
- Casas C., Mendoza E., Sanz M.L.G., Cortecero M.D.S., Fernández M.F. (1998). Utilización de hidratos de carbono como sustitutos de grasa en productos cárnicos. *Alimentación, equipos y tecnología*, 17(7): 55-61 pp.
- CIE, (1986). *Colorimetry*, 2nd ed. Commission International de l'Éclairage, Publication CIE 15.2, Wien, Austria. 88-107 pp.
- Ciudad-Mulero M., (2017). Arabinoxilanos y su importancia en la salud. *Revista Complutense De Ciencias Veterinarias*, 11(Especial): 84-89 pp. <http://dx.doi.org/10.5209/RCCV55224>
- Consejo Mexicano de la carne (2018). *Compendio estadístico 2018*. <https://comecarne.org/wp-content/uploads/2019/04/Compendio-Estadi%CC%81stico-2018-VF.pdf>. (junio 2019).
- Desmond E., Troy D., Buckley D. (1998). Comparative studies of nonmeat adjuncts used in the manufacture of low-fat beef burgers. *Journal of Muscle Foods*, 9(3): 221-241 pp. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.1998.tb00657.x>
- Döring C., Jekle M., Becker T., (2016). Technological and analytical methods for arabinoxylan quantification from cereals, *Critical reviews in food science and nutrition*, 56(6): 999-1011 pp. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.749207>
- Estévez M., Cava R. (2006). Effectiveness of rosemary essential oil as an inhibitor of lipid and protein oxidation: Contradictory effects in different types of frankfurters. *Meat Science*, 72(2): 348-355. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.08.005>
- Fausch H., Kündig W., Neukom H. (1963). Ferulic acid as a component of a glycoprotein from wheat flour. *Nature*, 199(4890): 287 pp. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1038/199287a0.pdf>
- Fernández-López J., Pérez-Álvarez J. A., Aranda-Catalá V. (2000). Effect of mincing degree on colour properties in pork meat. *Color research & application: Endorsed by International society color council, The colour group (Great Britain), Canadian society for color, color science association of Japan, Dutch society for the study of color, The*

- Swedish colour centre foundation, colour society of Australia, centre Français de la couleur, 25(5): 376-380 pp. [https://doi.org/10.1002/1520-6378\(200010\)25:5<376::AID-COL9>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/1520-6378(200010)25:5<376::AID-COL9>3.0.CO;2-H)
- Figueroa-Espinoza M.C., Rouau X. (1998). Oxidative crosslinking of pentosans by a fungal laccase and horseradish peroxidase: mechanism of linkage between feruloylated arabinoxylans. *Cereal Chemistry*, 75:259-265 pp. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1998.75.2.259>
- Fox, B. (2008). *Ciencia de los alimentos, nutrición y salud*. México, D.F. Editorial Limusa. 460 pp.
- Freixanet, L. (2010). Aditivos e ingredientes en la fabricación de productos cárnicos cocidos de músculo entero. Metalquimia S.A. Artículos tecnológicos. Editado por Metalquimia S.A. Gerona, España.
- Frontela C., López G., Ros G., Martínez C. (2006). Relación entre los parámetros sensoriales, fisicoquímicos e instrumentales en el jamón cocido. *Anales Veterinaria de Murcia*, 22: 67-78 pp.
- García S.H., Vera N.G. (2010). Efecto de la adición de harina de cáscara de naranja sobre las propiedades fisicoquímicas, textuales y sensoriales de salchichas cocidas. *Nacameh*, 4(1): 23-36 pp.
- Gaytán-Martínez, M. (2011). Estudio del calentamiento óhmico para la obtención de masa y harinas de maíz nixtamalizado (Tesis doctoral). Instituto politécnico nacional, Querétaro, Qro.
- Gibson G.R., Roberfroid M.B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *Journal of Nutrition*, 125(6): 1401-1412 pp. <https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401>
- González M.I., Suárez H., Martínez, O.L. (2009). Relación entre las características fisicoquímicas y sensoriales en jamón de cerdo durante el proceso de cocción y temperatura de almacenamiento. *Vitae*, 16(2): 183-189 pp. ISSN: 0121-4004
- González-Estrada, R., Calderón-Santoyo, M., Carvajal-Millan, E., Valle, F. D. J. A., Ragazzo-Sánchez, J. A., Brown-Bojorquez, F., & Rascón-Chu, A. (2015). Covalently cross-linked arabinoxylans films for *Debaryomyces hansenii* entrapment. *Molecules*, 20(6): 11373-11386 pp. <https://doi.org/10.3390/molecules200611373>
- Grootaert, C., Delcour, J.A., Courtin, C.M., Broekaert, W.F., Verstraete, W., Van de Wiele, T. (2007). Microbial metabolism and prebiotic potency of arabinoxylan oligosaccharides in the human intestine. *Trends in Food Science & Technology*, 18: 64-71 pp. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.08.004>
- G-SE. Ciencias del ejercicio. (2019). Análisis estructural del músculo esquelético. <https://g-se.com/analisis-estructural-del-musculo-esqueletico-bp-E57cfb26d6d062> Fecha de consulta: junio 2019.
- Guerrero, H. (2016). Hidrólisis enzimática de fracciones de nejayote para la obtención y recuperación de oligómeros de arabinoxilanos y otras moléculas de alto valor agregado (tesis de maestría). Centro de investigación y asistencia en tecnología y diseño del estado de Jalisco, A. C. (CIATEJ A.C.) Gda, Jalisco.
- Honikel, K. O. (1998). Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Science*, 49(4): 444-457 pp. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(98\)00034-5](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(98)00034-5)

- Hui, Y. H., & Guerrero, I. (2006). *Ciencia y tecnología de carnes*. Primera edición. México, D.F. Editorial Limusa.
- Instituto nacional de estadística y geografía (INEGI). (2017). Encuesta nacional agropecuaria 2017. <http://www.beta.inegi.org.mx/programas/ena/2017/> Fecha de consulta: mayo 2019.
- Iravani S., Fitchett C.S., Georget D.M. (2011). Physical characterization of arabinoxylan powder and its hydrogel containing a methyl xanthine. *Carbohydrate Polymers*, 85(1): 201-207 pp. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.02.017>
- Itagaki S., Kurokawa T., Nakata C., Saito Y., Oikawa S., Kobayashi M., Hirano T., Iseki K. (2009). In vitro and in vivo antioxidant properties of ferulic acid: a comparative study with other natural oxidation inhibitors. *Food Chemistry*, 114: 466-471 pp. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.073>
- Izydorczyk M.S., Biliaderis C.G. (1995). Cereal arabinoxylan: advances in structure and physicochemical properties. *Carbohydrate Polymers*, 28(1): 33-48 pp. [https://doi.org/10.1016/0144-8617\(95\)00077-1](https://doi.org/10.1016/0144-8617(95)00077-1)
- Izydorczyk M.S., Biliaderis C.G., Bushuk W. (1991). Comparison of the structure and composition of water-soluble pentosanes from different wheat varieties. *Cereal Chemistry*, 68(2): 139-144 pp.
- Izydorczyk M.S., Biliaderis C.G., Lazaridou A., Thompson D.B., Gao S., Nishinari K., Muzzarelli, R.A. (2007). *Functional food carbohydrates*. Boca Raton, FL. ISBN 9780367390167
- Jiménez-Colmenero F., Herrero A., Pintado T., Solas M.T., Ruiz-Capillas C. (2010). Influence of emulsified olive oil stabilizing system used for pork backfat replacement in frankfurters. *Food Research International*, 43(8): 2068-2076 pp. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.06.010>
- Knutsen S.H., Myslabodski D.E., Larsen B., Usov, A.I. (1994). A modified system of nomenclature for red algal galactans. *Botánica Marina*, 37(2): 163-170 pp. <https://doi.org/10.1515/botm.1994.37.2.163>
- Kumar, M., & Sharma, B. (2004). Quality and storage stability of low-fat pork patties containing barley flour as-fat substitute. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 41(5): 496-502 pp.
- Lafiandra D., Riccardi G., Shewry P.R. (2014). Improving cereal grain carbohydrates for diet and health. *Journal of Cereal Science*, 59(3): 312-326 pp. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.01.001>.
- Li C., Liu D., Zhou G., Xu X., Qi J., Shi P., Xia T. (2012). Meat quality and cooking attributes of thawed pork with different low field NMR T21. *Meat Science*, 92(2): 79-83 pp. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.11.015>
- Loyola C.E.C., Acosta A., Carrillo E.P. (2013). Evaluación sensorial y de composición proximal de jamón de cerdo en cinco marcas comercializadas en Honduras (Bachelor's thesis, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2013). <http://hdl.handle.net/11036/1789>
- Lu Z.X., Walker K.Z., Muir J.G., O'Dea K. (2004). Arabinoxylan fibre improves metabolic control in people with Type II diabetes. *European Journal of Clinical Nutrition*, 58: 621-628 pp. <https://www.nature.com/articles/1601857>
- Lugo E.B. (2008). Nitritos y Nitratos: Su uso, control y alternativas en embutidos cárnicos.

- Nacameh, 2(2): 160-187 pp.
- Mansour E. H., Khalil A. H. (1997). Characteristics of low-fat beefburger as influenced by various types of wheat fibers. *Food Research International*, 30(3-4): 199-205. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(97\)00043-4](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(97)00043-4)
- Méndez-Zamora G., García-Macías J. A., Santellano-Estrada E., Chávez-Martínez A., Durán-Meléndez L.A., Silva-Vázquez R., Quintero-Ramos A. (2015). Fat reduction in the formulation of frankfurter sausages using inulin and pectin. *Food Science and Technology*, 35(1): 25-31 pp. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6417>
- Møller S.M., Gunvig A., Bertram H.C. (2010). Effect of starter culture and fermentation temperature on water mobility and distribution in fermented sausages and correlation to microbial safety studied by nuclear magnetic resonance relaxometry. *Meat Science*, 86(2): 462-467 pp. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.035>
- Montero P.M., Acevedo D., Arnedo A.J., Miranda N.K. (2015). Efecto de la incorporación de plasma sanguíneo y pasta de ajonjolí en la fabricación de un embutido tipo salchicha. *Información Tecnológica*, 26(6): 55-64 pp. <https://doi:10.4067/S0718-07642015000600008>
- Montoya, L. (2004). Efecto de la adición de alginato de sodio sobre las purgas de un jamón cocido, tajado, empacado al vacío. Informe final de Especialización en ciencia y tecnología en alimentos. Facultad de ciencias agropecuarias. Universidad nacional de Colombia. Medellín. 69.
- Morales-Ortega A., Niño-Medina G., Carvajal-Millán E., Gardea-Béjar A., Torres-Chávez P., López-Franco Y., Lizardi-Mendoza J. (2013). Los arabinosilanos ferulados de cereales: Una revisión de sus características fisicoquímicas y capacidad gelificante. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(4): 439-446 pp. ISSN 0187-7380
- Moreno C.L., Domínguez V.I., Mariezcurrena, B.M. (2014). Importancia de las fibras musculares y su relación con la calidad de la carne. En: Domínguez V.I. & Ramírez, B.E. (eds). *Tecnología y ciencia de la carne de animales rumiantes*. Ediciones EON. México, D.F. 69-86. ISBN: 978-607-8289-82-0
- Neyrinck A.M., Possemiers S., Druart C., Van de Wiele T., De Backer F., Cani P.D., Larondelle Y., Delzenne N.M. (2011). Prebiotic effects of wheat arabinoxylan related to the increase in *bifidobacteria*, *roseburia* and *bacteroides/prevotella* in diet-induced obese mice. *PLoS one*, 6(6): 1-12 pp. e20944. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020944>
- Niño-Medina G., Carvajal-Millán E., Rascón-Chu A., Márquez-Escalante J.A., Guerrero V., Salas-Muñoz E. (2010). Feruloylated arabinoxylans and arabinoxylan gels: Structure, sources and applications. *Phytochemistry Reviews*, 9(1): 111-120 pp.
- Norma mexicana NMX-F-065-1984. Alimentos. Salchichas. Especificaciones. Recuperado de: <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-065-1984.PDF>
- Norma mexicana. NMX-F-065-1984. Alimentos. Salchichas. Especificaciones. Foods. Sausage. Specifications. Normas mexicanas. Dirección general de normas. <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-065-1984.PDF>
- Norma mexicana. NMX-F-123-S-1982. Alimentos. Jamón cocido. Especificaciones. Norma Mexicana. Dirección general de normas. <https://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-123-S-1982.PDF>
- Norma oficial mexicana NOM-145-SSA1-1995, Productos cárnicos troceados y curados. Productos cárnicos curados y madurados. Disposiciones y especificaciones sanitarias.

- Recuperado de: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/145ssa15.html>
- Norma Oficial Mexicana NOM-158-SCFI-2003. Jamón-Denominación y clasificación comercial, especificaciones fisicoquímicas, microbiológicas, organolépticas, información comercial y métodos de prueba. Recuperado de: <http://www.porcimex.org/NORMAS/nom-158-scfi.pdf>
- Norma oficial mexicana NOM-213-SSA1-2018. Productos y servicios. Productos cárnicos procesados. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. Recuperado de: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5556645&fecha=03/04/2019](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5556645&fecha=03/04/2019)
- Onipe O.O., Jideani A.I., Beswa D. (2015). Composition and functionality of wheat bran and its application in some cereal food products. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(12): 2509-2518 pp. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12935>
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO, 2017). Estadísticas producción mundial de cultivos agrícolas. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Pearce K.L., Rosenvold K., Andersen H.J., Hopkins D.L. (2011). Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes-A review. *Meat Science*, 89(2): 111-124 pp. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.007>
- Pérez W.A.P., Muñoz C.E.A., Molina D.A.R. (2012). Efecto de la reducción de cloruro de sodio sobre las características de calidad de una salchicha tipo seleccionada. *Revista facultad nacional de agronomía-Medellín*. 65(2): 6785-6793 pp. ISSN: 0304-2847
- Pietrasik Z., Aalhus M.L., Gibson L.L., Shand P.J. (2010). Influence of blade tenderization, moisture enhancement and pancreatin enzyme treatment on the processing characteristics and tenderness of beef semitendinosus muscle. *Meat Science*, 84(3): 512-517 pp. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.10.006>
- Piñero M.P., Parra K., Huerta-Leidenz N., Arenas de Moreno L., Ferrer M., Araujo, S., Barboza Y. (2008). Effect of oat's soluble fibre ( $\beta$ -glucan) as a fat replacer on physical, chemical, microbiological and sensory properties of low-fat beef patties. *Meat Science*, 80(3): 675-680 pp. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.03.006>
- Prieto B., Carballo J. (1997). El control analítico de la calidad en los productos cárnicos crudos-curados. *CYTA-Journal of Food*, 1(5): 112-120 pp. <https://doi.org/10.1080/11358129709487570>
- Ramos M., Santos R., Beldarraín T. (2019). Influencia de la cocción sobre las características sensoriales de rollos de carne de res reestructurada/Influence of cooking on the sensory characteristics of rolls of restructured beef meat. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 29(1)
- Rattan O, Izydorczyk M.S., Biliaderis C.G. (1994). Structure and rheological behaviour of arabinoxylans from Canadian bread wheat flours. *Lebensm-Wiss Food Science and Technology*, 27(6): 550-555 pp. <https://doi.org/10.1006/fstl.1994.1108>
- Reardon W., Mullen, A.M., Sweeney T., Hamill R.M. (2010). Association of polymorphisms in candidate genes with colour, water-holding capacity, and composition traits in bovine *M. longissimus* and *M. semimembranosus*. *Meat Science*, 86(2): 270-275 pp. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.013>
- Restrepo-Molina D.A., Molina-Cote F.A., Cabrera-Torres K.R. (2010). Effect of the addition of kappa I.II carrageenan and tara gum on quality characteristics of cooked and chopped

- pork hams. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín, Colombia*, 63(2): 5717-5727 pp. ISSN 0304-2847
- Rico J.A.A., Cruz L.G., Goiz J.M.J., Álvarez Z.B.G., Ortiz M.E.R., Nicanor A.B. (2011). Efecto de la utilización de bagazo de naranja como extensor funcional sobre las propiedades fisicoquímicas y texturales de jamón cocido. *Nacameh*, 5(2): 27-39 pp. ISSN-e 2007-0373.
- Rivera-Toapanta E.A. (2016). Cuantificación de beta-glucanos en diferentes especies de hongos: hongos robellón (*lactarius deliciosus*), hongo blanco (*boletus edulis*), champiñón (*agaricus bisporus*) y shitake (*lentinus edodes*) y cuantificación de arabinosilanos en malta y bagazo de cerveza (Master's thesis), España/Universidad de Girona.
- Robert P., Marquis M., Barron C., Guillon F., Saulnier L. (2005). FT-IR investigation of cell wall polysaccharides from cereal grains. Arabinosilanol infrared assignment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(18): 7014-7018 pp. <https://doi.org/10.1021/jf051145y>
- Rodríguez R., Jaramillo S., Guillén R., Jiménez A., Fernández-Bolaños J., Heredia A. (2005). Cell wall phenolics of white and green asparagus. *Journal of the Science and Food Agriculture*, 85(6): 971–978 pp. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2053>
- Roets, C. (2009). Effect of endoxylanases, endoglucanases and their combination on wheat flour bread quality (Doctoral dissertation). University of Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa.
- Sánchez, G. L., (2009) Producción animal: materia prima en la industria cárnica. *CYTA-Journal of food*, 1(4), 73-80 pp. <https://doi.org/10.1080/11358129709487565>
- Sánchez, G.G., (2012). Efecto funcional de los arabinosilanos y beta-glucanos presentes en cereales. *REDUCA*, 4(10). ISSN: 1989-5003
- Sárossy Z., Blomfeldt T.O., Hedenqvist M. S., Koch, C. B., Ray, S. S., Plackett D. (2012). Composite films of arabinosilanol and fibrous sepiolite: morphological, mechanical, and barrier properties. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 4(7): 3378-3386 pp. <https://doi.org/10.1021/am3002956>
- Serdaroglu M. (2006). The characteristics of beef patties containing different levels of fat and oat flour. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(2): 147-153 pp. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01041.x>
- Serna-Saldívar S.R.O. (2013). Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor. Segunda edición. ISBN: 978-607-7551-32-4
- Smith B.G., & Harris P.J. (2001). Ferulic acid is esterified to glucuronoarabinosilans in pineapple cell walls. *Phytochemistry*, 56: 513-519 pp. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)00401-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)00401-5)
- Smith M.M., Hartley R.D. (1983). Occurrence and nature of ferulic acid substitution of cell-wall polysaccharides in graminaceous plants. *Carbohydrate Research*, 118: 65-80 pp. [https://doi.org/10.1016/0008-6215\(83\)88036-7](https://doi.org/10.1016/0008-6215(83)88036-7)
- Stevanic J.S., Bergström E.M., Gatenholm P., Berglund L., Salmén L. (2012). Arabinosilanol/nanofibrillated cellulose composite films. *Journal of Materials Science*, 47(18): 6724-6732 pp. <https://doi.org/10.1007/s10853-012-6615-8>
- Szczesniak A.S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4): 215-225. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8)

- Tapp, W.N., Yancey, J.W.S., Apple, J.K. (2011). How is the instrumental color of meat measured?. *Meat Science*, 89(1): 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.11.021>
- Torres O.L., Hernández J., Sánchez L.T. (2012). Evaluación de los cambios fisicoquímicos producidos por la composición de sal en la formulación de jamón cocido. *Vitae*. 19(1): S400-S402 pp. ISSN: 0121-4004
- Torrescano G., Sanchez-Escalante A., Gimenez B., Roncales P., Beltrán J. A. (2003). Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. *Meat Science*, 64(1): 85-91 pp. [https://doi.org/10.1016/s0309-1740\(02\)00165-1](https://doi.org/10.1016/s0309-1740(02)00165-1)
- Troutt E.S., Hunt M.C., Johnson D.E., Claus J.R., Kastner C.L., Kropf, D.H. (1992). Characteristics of low-fat ground beef containing texture-modifying ingredients. *Journal of Food Science*, 57(1): 19-24 pp. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05415.x>
- Van Craeyveld V. (2009). Production and functional characterisation of arabinoxylan-oligosaccharides from wheat (*triticum aestivum l.*) bran and psyllium (*plantago ovata forsk*) seed husk (tesis doctoral). Universidad K.U. Leuven, Bélgica. ISBN 978-90-8826-116-9
- Vansteenkiste E.C., Babot X., Rouau V., Micard. (2004). Oxidative gelation of feruloylated arabinoxylan as affected by protein. Influence on protein enzymatic hydrolysis. *Food Hydrocolloids*, 18(4): 557-564 pp. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2003.09.004>
- Warner K.F. (1929). Progress report of the mechanical tenderness of meat. *Journal of Animal Science*, 1929(1): 114-116 pp. <https://doi.org/10.2527/jas1929.19291114x>
- Warner K.F. (1952). Adventures in testing meat for tenderness. *Proc. Recip. Meat Conf.* 5. 156-160 pp.
- Warriss, P.D. (2003). *Ciencia de la carne*. Zaragoza (España): Editorial Acribia, S.A. P. 263-264 pp.
- Wende G., Buchanan C.J., Fry S.C. (1997). Hydrolysis and fermentation by rat gut microorganisms of 2-O-β-D-xylopyranosyl-(5-O-feruloyl)-L-arabinose derived from grass cell wall arabinoxylan. *Journal of science food and agriculture*. 73(3): 296-300 pp. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199703\)73:3<296::AID-JSFA737>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199703)73:3<296::AID-JSFA737>3.0.CO;2-0)
- Yadav M.P., Johnston D.B., Hotchkiss Jr A.T., Hicks K.B. (2007). Corn fiber gum: a potential gum arabic replacer for beverage flavor emulsification. *Food Hydrocolloids*, 21(7): 1022–1030 pp. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.07.009>
- Zhang F.L., Liang Y., Tan C.P., Lu Y. M., Cui B. (2014). Research on the water-holding capacity of pork sausage with acetate cassava starch. *Starch-Stärke*, 66(11-12): 1033-1040 pp. <https://doi.org/10.1002/star.201400006>