



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

**CALIDAD Y ESTABILIDAD DE SALCHICHAS ADICIONADAS  
CON HÍGADO PORCINO COMO FUENTE DE RETINOL Y  
MINERALES**

---

Por:

**Nallely Peñúñuri Pacheco**

TESIS APROBADA POR LA

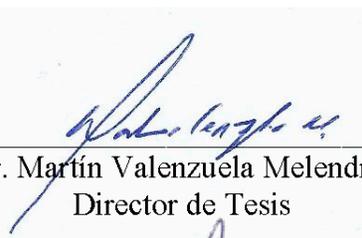
COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL

Como requisito para obtener el grado de

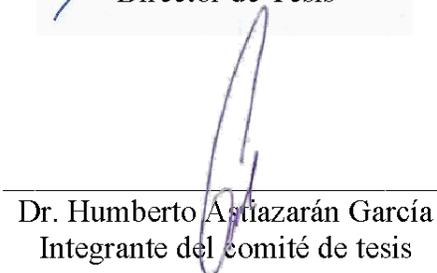
**MAESTRA EN CIENCIAS**

## APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para la revisión de la tesis de Nallely Peñúñuri Pacheco, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias.



Dr. Martín Valenzuela Melendres  
Director de Tesis



Dr. Humberto Astiazarán García  
Integrante del comité de tesis



Dr. Humberto González Ríos  
Integrante del comité de tesis



Dr. Martín Enrique Jara Marini  
Integrante del comité de tesis

## DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en la tesis “Calidad y Estabilidad de Salchichas Adicionadas con Hígado Porcino como Fuente de Retinol y Minerales” 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 de la autora, Nallely Peñúñuri Pacheco, 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

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Pablo Wong González", is written over a horizontal line.

Dr. Pablo Wong González  
Director General

## **DEDICATORIA**

*Con amor y cariño a mis padres Irene y Efraín por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional en mis metas profesionales y personales por llevarme en mi vida y enseñarme a aprender de mis errores para ser mejor persona, por los valores y educación que siempre me han inculcado para crecer como una persona responsable y honesta.*

*A mis hermanos Carolina y Efraín que siempre me han dado de su apoyo en cada una de mis metas y por ser un ejemplo de disciplina y dedicación para mí.*

*Al Dr. Juan Pedro Camou Arriola †, por confiar en mí todo momento, un abrazo al cielo.*

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para realizar el posgrado.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. por brindarme la oportunidad de formar parte del programa de maestría.

A la Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Animal (CTAOA), por permitirme ingresar a trabajar en esta área de investigación y por el uso de sus instalaciones durante estos años.

En primer lugar deseo expresar mi agradecimiento a los directores de esta tesis, Dr. Juan Pedro Camou Arriola † y Dr. Martín Valenzuela Melendres, por llevar la dirección de esta tesis y permitirme aprender de ustedes, por la confianza ofrecida para ingresar al grupo de trabajo desde el primer momento, por aceptarme como alumna, por el apoyo y la dedicación que brindaron en esta investigación, por respetar y aceptar mis sugerencias, por facilitarme mis dudas en el camino, por guiarme y por la paciencia durante estos años.

A los miembros de mi comité de tesis, Dr. Humberto González Ríos, Dr. Humberto Astiazarán García y Dr. Martín Enrique Jara Marini, por el apoyo, contribuciones, consejos y dedicación ofrecidos para que este trabajo pudiera ser realizado.

A la Q.B. Thalia Y. Islava Lagarda y Al I.Q. Germán Cumplido Barbeitia, por el apoyo en el laboratorio y la ayuda técnica durante la elaboración de la investigación. Sus consejos y enseñanzas fueron gratificantes para mi formación y para el desarrollo de este trabajo.

Al resto de los miembros de la CTAOA y compañeros del laboratorio, a la Dra. Aída Peña, por todo su apoyo, a la cDra. Anna Pérez Báez y al cDr. Julio González, gracias por su ayuda incondicional en el laboratorio, al M.C. Orlando Tortoledo Ortiz por la paciencia y el apoyo técnico en su laboratorio.

A mis amigos Mario, Cynthia, Alejandro e Imanol por su amistad incondicional durante toda la maestría, por motivarme en todo momento y por el apoyo mutuo durante la elaboración de este trabajo. A mis demás amigos del grupo de trabajo Ana Tánori, Francisco, Ana Laura †, que formaron parte importante de esta etapa, gracias a todos por los momentos agradables que vivimos juntos.

A mis papas y hermanos, por haber estado en todo momento cuando necesité de su apoyo, por su paciencia, comprensión y por ayudarme a cumplir mis metas.

Al resto de mis amigos y familia que no mencioné pero contribuyeron en gran medida a alentarme a continuar con este trabajo ¡MUCHAS GRACIAS!.

## CONTENIDO

<b>APROBACIÓN</b> .....	2
<b>DECLARACIÓN INSTITUCIONAL</b> .....	2
<b>DEDICATORIA</b> .....	4
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	5
<b>LISTADO DE FIGURAS</b> .....	9
<b>LISTADO DE CUADROS</b> .....	10
<b>LISTADO DE ECUACIONES</b> .....	11
<b>RESUMEN</b> .....	12
<b>ABSTRACT</b> .....	13
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	14
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	16
2.1. Problemática de Salud en México y el Mundo por Deficiencia de Vitamina A, Hierro, Zinc y Selenio en Niños de 1 a 4 Años .....	16
2.2. Importancia en la Salud y Fuentes de Alimentos con Vitamina A, Hierro, Zinc y Selenio .....	17
2.3. Estabilidad de Vitamina A, Hierro, Zinc y Selenio Durante el Procesamiento de Productos Cárnicos .....	18
2.4. Carne de Cerdo y su Aporte Nutricional .....	19
2.4.1. Hígado Porcino y su Aporte Nutricional .....	20
2.4.2. Utilización de Hígado Porcino en Productos Cárnicos.....	21
2.5. Alimentos Cárnicos Funcionales .....	22
2.5.1. Productos Cárnicos Funcionales en el Mercado Nacional, Internacional y Tendencias.....	23
2.6. Garbanzo ( <i>Cicer arietinum L.</i> ) Variedad Blanoro.....	24
2.6.1. Aporte Nutricional y Propiedades Funcionales del Garbanzo Blanoro .....	25
2.6.2. Aporte Nutricional del Humus como Producto Derivado de Garbanzo .....	26
2.7. Salchicha tipo Frankfurt .....	26
2.7.1. Información Nutricional y Consumo de Salchicha tipo Frankfurt en México y el Mundo .....	27
<b>3. HIPÓTESIS</b> .....	29
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	30
4.1. Objetivo General.....	30
4.2. Objetivos Específicos .....	30
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	31
5.1 Diseño Experimental .....	31
5.2. Selección de los Ingredientes .....	31

## CONTENIDO (continuación)

5.3. Preparación de los Tratamientos .....	32
5.4. Composición Proximal .....	33
5.5. Rendimiento por Cocción.....	33
5.6. Contenido de Minerales.....	34
5.7. Perfil de Ácidos Grasos .....	34
5.8. Determinación de Cloruro de Sodio .....	36
5.9. Análisis Microbiológico .....	36
5.10. Análisis Fisicoquímicos.....	37
5.10.1. Potencial de Hidrógeno (pH) .....	37
5.10.2. Color Instrumental (CIE $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ ) .....	37
5.10.3. Análisis de Perfil de Textura (APT) .....	38
5.10.4. Esfuerzo al Corte .....	38
5.11. Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS) .....	39
5.12. Contenido de Retinol.....	39
5.13. Análisis Estadístico .....	40
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>41</b>
6.1. Caracterización de la materia prima .....	41
6.2. Rendimiento y Composición Proximal .....	44
6.3. Perfil de ácidos grasos .....	47
6.4. Contenido de Minerales.....	49
6.5. Contenido de Cloruro de Sodio .....	51
6.6 Análisis Microbiológico .....	53
6.7. Análisis Fisicoquímicos.....	53
6.7.1. Potencial de Hidrógeno (pH) .....	53
6.7.2. Color Instrumental (CIE $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ ) .....	55
6.7.3. Análisis de Perfil de Textura (APT) .....	58
6.7.4. Esfuerzo al corte .....	61
6.8. Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS) .....	62
6.9. Contenido de Retinol.....	64
<b>7. CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>8. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>9. REFERENCIAS .....</b>	<b>69</b>
<b>10. ANEXOS .....</b>	<b>76</b>

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Contenido de hierro (A), zinc (B) y selenio (C) en salchichas de cerdo adicionadas con hígado de cerdo.....	51
2	Contenido de cloruro de sodio en salchichas de cerdo adicionadas con hígado de cerdo.....	52
3	Valores de pH de las salchichas (media $\pm$ error estándar) por efecto de la interacción porcentaje de hígado de cerdo añadido y días de almacenamiento.....	54
4	Efecto del porcentaje de hígado de cerdo añadido y días de almacenamiento respecto al valor $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ en salchichas.....	57
5	Valores de dureza (N) de las salchichas por efecto de la interacción porcentaje de hígado de cerdo añadido y días de almacenamiento.....	59
6	Valores de elasticidad (cm) de las salchichas por efecto del porcentaje de hígado de cerdo añadido (A) y días de almacenamiento (B).....	60
7	Figura 7. Valores de cohesividad de las salchichas por efecto del porcentaje de hígado de cerdo añadido (A) y días de almacenamiento (B).....	60
8	Figura 8. Comportamiento de la masticabilidad (N x cm) de las salchichas por efecto de la interacción porcentaje de hígado de cerdo añadido y días de almacenamiento.....	61
9	Efecto del porcentaje de hígado de cerdo añadido (A) y días de almacenamiento (B) respecto al valor de firmeza (kg) en salchichas.....	62
10	Valores de oxidación lipídica TBA (mg MA/kg) en salchichas por efecto de la interacción porcentaje de hígado de cerdo añadido y días de almacenamiento.....	63
11	Efecto del porcentaje de hígado de cerdo añadido respecto al contenido de retinol en salchichas.....	66

## LISTADO DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Perfil nutricional de 100 gramos de carne de cerdo.....	20
2	Perfil nutricional de 100 gramos de hígado de cerdo.....	21
3	Perfil nutricional del garbanzo y humus de garbanzo.....	25
4	Porcentaje de ingredientes en la formulación de tratamientos de salchichas de cerdo adicionados con hígado de cerdo (HC).....	31
5	Composición <sup>1</sup> química proximal, pH, color, minerales y retinol de la carne e hígado de cerdo usados en la elaboración de las salchichas.....	42
6	Perfil de ácidos grasos de hígado y carne de cerdo usados como materia prima.....	43
7	Composición <sup>1</sup> química proximal y rendimiento por cocción de salchichas adicionadas con hígado de cerdo.....	46
8	Comparación de salchichas experimentales con salchichas comerciales.....	50
9	Perfil de ácidos grasos de salchichas adicionadas con hígado de cerdo.....	48
10	Cantidad diaria recomendada y límite máximo recomendado para hierro, zinc, selenio y vitamina A.....	76

## LISTADO DE ECUACIONES

<b>Ecuación</b>		<b>Página</b>
1	Determinación de proteína .....	36
2	Determinación de rendimiento por cocción.....	36

## RESUMEN

Las deficiencias de nutrimentos debido a una mala alimentación o una alimentación incompleta son comunes en la población mundial. Algunas de las deficiencias con alta prevalencia incluyen a la vitamina A y a minerales como el hierro, zinc y selenio. Un segmento de la población particularmente vulnerable a estas deficiencias son los niños menores de 5 años; Principalmente aquellos que habitan en poblaciones de bajos recursos. Es importante desarrollar alimentos que proporcionen los nutrimentos necesarios que poblaciones de este tipo requieren. Esto representa un área de oportunidad para la industria cárnica de formular productos especiales enfocados a ciertas poblaciones con deficiencias nutricionales, creando a su vez, alternativas de alimentación más saludables. Alimentos ricos en compuestos bioactivos como el hígado de cerdo pueden ser utilizados como ingredientes no tradicionales para la formulación de nuevos productos cárnicos. La incorporación de nuevos ingredientes en una formulación cárnica impacta en la calidad final del producto y en la estabilidad durante el almacenamiento; su factibilidad de incorporación es un primer paso para desarrollar productos cárnicos funcionales. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un producto cárnico tipo salchicha adicionado con hígado de cerdo (HC) como fuente de retinol, hierro, zinc y selenio, y evaluar su calidad durante el almacenamiento en refrigeración. Los tratamientos evaluados fueron: 1) testigo, sin adición de hígado de cerdo (HC 0%), 2) adición de HC 4%, 3) adición de HC 8% y 4) adición de HC 12%. Se evaluó en las salchichas el contenido de retinol y minerales, además de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas a través del tiempo de almacenamiento por 60 días a 2 °C. Los contenidos de hierro, zinc y selenio aumentaron 456%, 53% y 92% respectivamente al compararlos con el testigo. El contenido de retinol se incrementó de 1.50 µg/100g en el tratamiento testigo a 12504 µg/100g en el tratamiento HC 12%, permaneciendo estable a lo largo del tiempo de almacenamiento. El color instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) y la textura del producto disminuyeron con la incorporación de HC en la formulación cárnica. Los tratamientos evaluados presentaron un menor contenido de grasa, sodio, kcal y mayor contenido de proteína, comparado con un producto comercial. El HC es un ingrediente con potencial de ser utilizado en el desarrollo de salchichas con perfil nutricional mejorado, con calidad fisicoquímica aceptable y podría ser una opción de alimentación saludable para la población infantil.

**Palabras clave:** hígado porcino, retinol, salchicha de cerdo, cárnicos funcionales

## ABSTRACT

Nutrient deficiencies due to poor diet or incomplete nutrition are common in the world's population. Some of the highly prevalent deficiencies include vitamin A and minerals such as iron, zinc, and selenium. A segment of the population vulnerable to these deficiencies are children under 5 years of age, mainly those who live in low-income populations. It is important to create foods that provide the necessary nutrients that populations of this type require. This represents an area of opportunity for the meat industry to develop special products focused on certain populations with nutritional deficiencies, in turn creating healthier food alternatives. Foods rich in bioactive compounds such as pork liver can be used as non-traditional ingredients for the formulation of new meat products. The incorporation of new ingredients in a meat formulation impacts the final quality of the product and the stability during storage; its feasibility of incorporation is a first step to developing functional meat products. The objective of this work was to develop a sausage-type meat product added with pork liver (CH) as a source of retinol, iron, zinc, and selenium, and to evaluate its quality during refrigerated storage. The evaluated treatments were: 1) control, without addition of pig liver (HC 0%), 2) addition of HC 4%, 3) addition of HC 8% and 4) addition of HC 12%. The retinol and mineral content were evaluated, as well as the physicochemical and microbiological properties through the storage time for 60 days at 2 ° C. The iron, zinc, and selenium contents increased 456%, 53%, and 92% respectively when compared with the control. The retinol content increased from 1.50 µg / 100g in the control treatment to 12504 µg / 100g in the 12% HC treatment, remaining stable throughout the storage time. The instrumental color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) and the texture of the product decreased with the incorporation of HC in the meat formulation. All the evaluated treatments had a lower content of fat, sodium, kcal, and higher protein content when compared with a commercial product. Pork liver is an ingredient with the potential to be used in the development of sausages with improved nutritional profile and acceptable physicochemical quality. The product could be a healthy eating option for children.

**Keywords:** pork liver, retinol, pork sausage, functional meats

## 1. INTRODUCCIÓN

Una nutrición adecuada es fundamental para un buen crecimiento y desarrollo del cuerpo humano; Sin embargo, aún persisten deficiencias de vitaminas, minerales y oligoelementos en diferentes poblaciones a nivel mundial (OMS, 2017). Hoy en día, millones de personas en el mundo presentan deficiencias de nutrimentos debido a una mala alimentación o una alimentación deficiente, lo cual puede ocasionar distintos problemas de salud (FAO, 2014). Algunas de las deficiencias con alta prevalencia, principalmente en poblaciones de bajos recursos, incluyen a la vitamina A y minerales como el hierro, zinc y selenio. Las deficiencias nutricionales podrían cubrirse con una alimentación variada, balanceada y adecuada que los proporcione en las cantidades suficientes que los individuos requieren. Sin embargo, en ocasiones existen limitaciones o dificultades para cubrir las necesidades, como la falta de acceso a todos los grupos de alimentos o bien a requerimientos elevados en ciertas etapas de la vida. Un segmento de la población vulnerable a deficiencias nutrimentales son los niños menores de 5 años, principalmente aquellos que se encuentran en poblaciones de bajo recursos (IMSS, 2014). Ante ello, uno de los retos a los que se enfrenta la industria cárnica, además de cumplir con los intereses y exigencias del consumidor, es la de proveer productos especiales enfocados a ciertos nichos de poblaciones con deficiencias nutricionales. Cada vez existen más personas que se interesan en buscar productos con un enfoque más saludable con los cuales puedan obtener beneficio a la salud más allá de una nutrición adecuada, que sean sensorialmente aceptables y tengan un costo accesible. La carne de cerdo posee un aporte nutricional importante en la dieta debido a su alto contenido de proteínas de excelente calidad, vitaminas del complejo B y minerales como el hierro, zinc y selenio (USDA, 2016). En México, la carne de cerdo es de menor costo que la carne de bovino o pollo y su consumo per cápita es de 19 kg, ocupando el octavo lugar a nivel mundial. El Consejo Mexicano de la Carne reveló que el consumo de este alimento aumentó en la última década y el producto elaborado a partir de éste de mayor producción y consumo, fue la salchicha (Comecarne, 2021). Durante el sacrificio del cerdo se generan subproductos que tienen un aporte elevado de nutrientes, tal es el caso del hígado, que destaca por su alto contenido de vitamina A, hierro, zinc y selenio (León y Molina, 2016). Por su perfil nutricional, el hígado tiene gran potencial de ser utilizado como ingrediente en formulaciones de productos cárnicos especiales. Otro ingrediente no convencional

factible de ser utilizado para la elaboración de productos cárnicos con un enfoque más natural y saludable es el garbanzo, el cual puede ser usado para reemplazar a los almidones tradicionales que solo aportan calorías (USDA, 2021). El desarrollo de alimentos cárnicos funcionales conlleva primeramente a estudiar los posibles efectos que estos ingredientes no tradicionales ejercerán sobre la calidad final del producto. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue desarrollar un producto cárnico tipo salchicha adicionado con hígado de cerdo como fuente de retinol, hierro, zinc y selenio, y evaluar la calidad durante el almacenamiento en refrigeración.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. Problemática de Salud en México y el Mundo por Deficiencia de Vitamina A, Hierro, Zinc y Selenio en Niños de 1 a 4 Años

El cerebro se desarrolla a la máxima velocidad durante la primera infancia, por lo tanto, esta etapa es crucial para un buen crecimiento y desarrollo. Un factor clave y que condiciona a las deficiencias de micronutrientes, desarrollo y crecimiento es la alimentación (González *et al.*, 2020). A nivel mundial, un tercio de los niños que habitan en contextos de medianos y bajos ingresos presentan deficiencia de vitamina A (UNICEF, 2020). En México esta deficiencia se estima que se presenta en más de un cuarto de los niños con edad menor a 5 años, y se reconoce como una enfermedad subclínica (IMSS, 2014).

Un tercio de la población mundial presenta deficiencia de hierro y deficiencia de zinc (De la Cruz *et al.*, 2019). La causa más frecuente de anemia se cree que es por deficiencia de hierro. Uno de los segmentos de la población cuyos requerimientos de hierro son elevados principalmente en los primeros cinco años de vida, son los niños (OMS, 2019), requerimientos necesarios para un buen desarrollo cerebral, producir células musculares y nuevos glóbulos rojos (Cerami, 2017).

El informe de ENSANUT 2018 indicó que en poblaciones con menos de 100,000 habitantes la prevalencia de anemia en niños fue de 23.0%, siendo 7.2% la deficiencia de hierro. En cuanto a la deficiencia de zinc se estima sea el 18.6% de los niños. Por otro lado, se ha encontrado que en promedio el 80% de los niños y adolescentes mexicanos tienen una ingesta dietética de selenio que se encuentra por debajo de la dosis diaria recomendada (Liu *et al.*, 2019). En otro estudio elaborado en Kenia, se encontró que el 87% de los niños tampoco cubren la ingesta diaria recomendada de selenio mediante su dieta habitual (Ngigi *et al.*, 2019). Sida-Arreola *et al.* (2020) indican que aproximadamente el 15% de la población que presenta malnutrición padece deficiencia de selenio. A pesar de no ser estudios representativos, da una idea de la situación que se vive actualmente.

## 2.2. Importancia en la Salud y Fuentes de Alimentos con Vitamina A, Hierro, Zinc y Selenio

Las vitaminas, algunos minerales y oligoelementos como los que se abordarán en la presente investigación, ejercen múltiples funciones en el cuerpo humano, cada una de ellas repercute de manera significativa en nuestra salud. Las deficiencias de cada uno de ellos pueden generar diversos trastornos y síntomas (Gharibzahedi *et al.*, 2017).

Uno de los oligoelementos esenciales para cada etapa de la vida es el hierro, que está involucrado en varios procesos enzimáticos del metabolismo energético, el transporte de oxígeno, transferencia de electrones y la síntesis de ADN (Sermini, 2017), forma parte también de cofactores como oxidasas, peroxidasas, catalasas, hidroxilasas; y de los citocromos en la transferencia de electrones (Martínez *et al.*, 2019). El hierro está presente en los alimentos en dos formas, hierro hemo y hierro no hemo, las principales fuentes de alimentos de este último son las legumbres, cereales, verduras y frutas; mientras que la mioglobina y la hemoglobina presente en pollo, carne y pescado son las principales fuentes del hierro hemo (Abbaspour *et al.*, 2014). Su deficiencia puede llevar a presentar anemia ferropénica, cansancio, falta de energía, enfermedades intestinales, falta de memoria y concentración, dificultad para combatir gérmenes e infecciones o estabilizar la temperatura del cuerpo y dificultades de aprendizaje (NIH, 2019).

La vitamina A está presente en dos formas distintas. Se puede encontrar como vitamina A preformada en las carnes rojas, carne de ave y pescado, así como en vísceras (principalmente en hígado), y en leche y productos lácteos. Mientras que la otra forma es la provitamina A (principalmente como betacaroteno), la cual está presente en verduras de hojas verdes, anaranjado y amarillo (brócoli, zanahorias, calabazas, duraznos, melón, mango, entre otras) (Dávila, 2020). Su función en el organismo radica en mantener una visión buena, ayudar a reconstruir los huesos, combatir infecciones, mantenimiento de la piel, producir células de la sangre, prevenir la anemia y mantener la estabilidad de los tejidos del cuerpo (Gamboa, 2014). Su deficiencia es un factor de riesgo de ceguera y muerte por sarampión o diarrea (OMS, 2017).

Por otro lado, el zinc cumple en nuestro cuerpo funciones de estabilizar membranas celulares, regulando la transcripción celular y de algunas macromoléculas (varios receptores de hormonas esteroideas y tiroideas); forma complejos “zinc fingers”; por lo tanto, este mineral es fundamental (Taboada, 2017). Según el National Institutes of Health podemos encontrarlo naturalmente en

carnes rojas, aves, mariscos (langosta, cangrejo) y ostras. Su deficiencia puede ocasionar problemas con el sistema inmunológico, en la cicatrización de heridas, la diarrea, y la degeneración macular relacionada con la edad (NIH, 2019). Respecto al selenio, este mineral, participa en varios procesos, como antioxidante en el organismo, controlando el estado redox celular, disminuyendo el daño al ADN y la inflamación ocasionada por las especies reactivas de oxígeno reducido (Cai *et al.*, 2019). Tiene un papel fundamental en el cerebro para que este pueda funcionar bien, es importante en la regulación de la apoptosis, la inmunomodulación y la homeostasis del retículo endoplásmico. Las fuentes naturales de este mineral son la carne de res, carne de ave, leche, huevos, nuez de Brasil, mariscos, pan, cereales y derivados de este último (Ellwanger, 2016; NIH, 2019). Su deficiencia puede llegar a provocar la enfermedad de Keshan (enfermedad del corazón) y la KashinBeck, un tipo de artritis (NIH, 2019).

### 2.3. Estabilidad de Vitamina A, Hierro, Zinc y Selenio Durante el Procesamiento de Productos Cárnicos

La elaboración de productos cárnicos conlleva cierto procesamiento de todos sus ingredientes, dependiendo del tipo de producto. Algunos de los procesamientos son: tratamiento térmico, trituración, maduración; tratamientos de envejecimiento o fermentación, escaldado, mezclado, picado, entre otros (FAO, 2014).

Los ingredientes añadidos a las distintas formulaciones cumplen con una función, ya sea para conservar, dar características sensoriales y/o buscar cierto aporte nutricional. Pese a esto, se debe tener presente que los compuestos de estos ingredientes serán influenciados en su estabilidad térmica, química y de almacenamiento, según el tipo de procesamiento que se aplique al producto (Sotomayor, 2016). La destrucción de nutrientes puede ser ocasionada por el tratamiento térmico (Gurpreet, 2015).

La FAO (2014) hace hincapié en que la vitamina A (retinol y sus ésteres) es rápidamente destruida por la luz, el oxígeno y los ácidos. La vitamina A se destruye al freír a temperaturas altas o con periodos de tiempo largos, con el secado, principalmente al sol; mediante cocción por largo tiempo y al estar en contacto con el aire (recipientes sin tapa). En cuanto a minerales, indica que la

molienda pudiera reducir su presencia en el producto final y que los oligoelementos son resistentes a técnicas culinarias.

#### 2.4. Carne de Cerdo y su Aporte Nutricional

La carne roja de mayor consumo a nivel mundial es la carne de cerdo, cuya demanda en las últimas décadas ha experimentado un fuerte incremento (FAO, 2016). Proteínas y micronutrientes de alto valor biológico son características que posee la carne roja, como la del cerdo, es por ello que su aporte nutricional es importante para conservar una buena salud humana (Cashman *et al.*, 2017). Desde el punto de vista comercial, la carne de cerdo, así como sus productos son muy importantes (Cashman *et al.*, 2017). En México, la carne de cerdo ocupa el segundo lugar en consumo de proteína de origen animal, siendo primordial en muchos de los platillos. Según el Consejo Mexicano de la Carne, México ocupa el octavo lugar en consumo per cápita de carne de cerdo a nivel mundial y del 2020 al 2021, el consumo subió de 18.9 kg a 20.3 kg respectivamente (Comecarne, 2021).

En el Cuadro 1 se muestra el aporte nutricional de la carne de cerdo. Su composición está representada por minerales como el hierro, potasio, fósforo, sodio, zinc y selenio (USDA, 2016), 1% de carbohidratos (glucógeno), 16-22% de proteínas de alto valor biológico (posee todos los aminoácidos esenciales para la nutrición humana), 1-13% de grasas (ácidos grasos saturados, de mayor a menor concentración, palmítico (C 16:0), esteárico (C 18:0) y mirístico (C 14:0). El ácido oleico (C 18:1), es el monoinsaturado más abundante, seguido del palmitoleico (C 16:1). Los ácidos linoleico (C 18:2), linolénico (C 18:3) y araquidónico (C 20:4) son los principales ácidos grasos poliinsaturados), también contiene agua (65-80%) (Toldrá *et al.*, 2011), y minerales como el hierro y zinc con alta biodisponibilidad (Carbajal *et al.*, 2004; Braun *et al.*, 2007).

Cuadro 1. Perfil nutricional de 100 gramos de carne de cerdo

<b>Nombre</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Energía	196	kcal
Grasa Total	12.95	g
Carbohidratos	0.6	g
Colesterol	75	g
Agua	65.82	g
Proteína	19.40	g
Hierro	1.05	mg
Potasio	243	mg
Fósforo	173	IU
Sodio	213	mg
Zinc	2.77	mg
Selenio	46.0	µg

Fuente: USDA (2016)

#### **2.4.1. Hígado Porcino y su Aporte Nutricional**

Los subproductos cárnicos comestibles comprenden una variedad de productos que incluyen órganos internos (por ejemplo: corazón, pulmón, hígado, bazo y riñón), entrañas y otras partes como cabeza, cola y pies, entre otros (Seong *et al.*, 2014). Uno de los subproductos de gran importancia nutricional para el consumo humano es el hígado. En el Cuadro 2 se presenta el perfil nutricional del hígado de cerdo según tablas de la USDA (2019), donde destaca su contenido de vitamina A, proteína, hierro, zinc y selenio. Se ha encontrado que de todos los subproductos cárnicos, el hígado es la mejor fuente de niacina, vitamina B12, B6, folacina, ácido ascórbico y vitamina A (Irshad *et al.*, 2015).

Cuadro 2. Perfil nutricional de 100 gramos de hígado de cerdo

Nombre	Cantidad	Unidad
Energía	133	Kcal
Proteína	21.24	g
Lípidos totales (grasas)	3.54	g
Carbohidratos, por diferencia	2.65	g
Hierro, Fe	23.89	mg
Sodio, Na	88	mg
Selenio	52.7	µg
Hierro, Fe	23.89	mg
Vitamina A, UI	16814	UI
Zinc	5.76	mg
Vitamina C, ácido ascórbico total	26.5	mg
Ácidos grasos, saturados totales	1.33	g
Ácidos grasos, trans total	0.0	g
Colesterol	301	mg

Fuente: USDA (2019)

#### 2.4.2. Utilización de Hígado Porcino en Productos Cárnicos

A lo largo del tiempo, se le ha dado un uso a los derivados o subproductos cárnicos al incorporarlos en la fabricación de los alimentos. Los subproductos comestibles del cerdo representan el 14% del rendimiento del animal, incluyendo los órganos y la sangre (Irshad *et al.*, 2015). Principalmente, en Egipto, Italia, España y países del continente asiático rescatan los subproductos cárnicos comestibles y los utilizan como alimentos (Seong *et al.*, 2014).

Ya que el hígado es de bajo costo y tiene un gran aporte de nutrientes esenciales se considera como una buena opción y muy interesante para la industria de los alimentos (Srebernich *et al.*, 2018). Países como Francia, España, Dinamarca y Alemania cuentan con algunos productos elaborados con hígado porcino, como lo es el paté de hígado, su consumo es alto y es tradicional en su gastronomía (Delgado *et al.*, 2011).

En México, el hígado es un subproducto que normalmente se consume por sí solo (en diferentes formas de preparación o guiso); sin embargo, no es común encontrarlo como ingrediente habitual en los productos procesados. Se ha encontrado que el adicionar subproductos como el hígado y riñón de cerdo a salchichas tipo Frankfurter da como resultado una salchicha que se puede llegar a catalogar como “altas en hierro” (León y Molina, 2016).

## 2.5. Alimentos Cárnicos Funcionales

En la actualidad, los alimentos se han considerado como un factor determinante que interviene en la prevención de ciertos padecimientos que están relacionados con la alimentación (Pogorzelska *et al.*, 2018). Los alimentos funcionales son un tema relativamente nuevo y se encuentra en desarrollo y constante evolución en las últimas tres décadas (Grochowska *et al.*, 2017).

Debido a que hay diversas definiciones de alimentos funcionales, las organizaciones han adoptado una definición universal. Por lo general, son definidos como aquellos alimentos que pueden ayudar a tratar o prevenir una enfermedad y mejoran la salud. El Instituto de Tecnólogos de Alimentos los definen como "Alimentos y componentes de alimentos que proporcionan un beneficio para la salud más allá de la nutrición básica" (Martirosyan y Miller, 2018). Inicialmente se creía que únicamente las plantas eran fuentes de compuestos funcionales, sin embargo, gracias a investigaciones, se encontró que los productos elaborados con proteína animal (carne) también aportan dichas propiedades. Son excelente fuente de compuestos bioactivos, tanto los productos cárnicos como la carne, estos traen a la salud humana efectos positivos, como lo son, el aporte de los ácidos grasos, minerales, péptidos y vitaminas (Pogorzelska *et al.*, 2018).

Se señala que es posible desarrollar productos cárnicos funcionales innovadores, que aparte del valor nutricional aporten también un beneficio a la salud. Esto se logra adicionando vegetales, extractos, fibra, entre otros; eliminando grasa y reduciendo aditivos de diferentes ingredientes (Camou *et al.*, 2014). Lo anteriormente mencionado aplica tanto en productos cárnicos, como en la dieta animal (Martirosyan y Miller, 2018).

Hay muchas posibilidades de producir productos cárnicos funcionales, como las múltiples modificaciones a las formulaciones con el objetivo de fabricar un alimento que sea consumido frecuentemente provea salud al consumidor. Los productos cárnicos funcionales buscan principalmente: favorecer el adecuado desarrollo y crecimiento de las personas, que los procesos metabólicos básicos sean regulados, un sistema de defensa ante el estrés oxidativo, que la fisiología cardiovascular y gastrointestinal sea favorecida, actuar ante el rendimiento mental y cognitivo, así como favorecer al estado físico de la persona (Huerta, 2005).

El hecho de que los consumidores aumenten su conciencia al momento que comprar sus alimentos, aunado a la gran competencia a nivel mundial de las empresas productoras de carne, estos aspectos ejercen una presión para crear productos cárnicos nuevos que favorezcan a la salud humana.

Consecuentemente, en la industria de los alimentos existe un gran esfuerzo que se enfoca a mejorar el aporte de los alimentos. El objetivo de producir alimentos que tengan un mejor impacto en la salud, se enfoca en la fortificación o el agregar ingredientes que aporten nutrientes de interés a los productos originales para que con ello beneficien a la salud. La carne y los productos cárnicos son una excelente matriz alimentaria para el diseño de productos innovadores. El desarrollo de un producto cárnico funcional se puede iniciar en dos etapas: desde la nutrición del animal o durante el procesamiento de la carne. Hay que tener en cuenta que el añadir sustancias puede generar cambios en el producto como puede ser la consistencia, el sabor, color y apariencia en comparación con un producto convencional. Lo anterior puede ocasionar el rechazo por parte de las personas que lo consuman (Pogorzelska *et al.*, 2018). Olmedilla (2014) menciona que “Las estrategias tecnológicas basadas en cambios en los sistemas de transformación de la carne abren interesantes posibilidades en el campo de la alimentación funcional. La forma más versátil de modificar la composición de los derivados cárnicos surge de la amplia oportunidad de introducir cambios en los ingredientes (cárnicos y no cárnicos) utilizados en su elaboración”.

### **2.5.1. Productos Cárnicos Funcionales en el Mercado Nacional, Internacional y Tendencias**

A nivel mundial la tendencia en cuanto a la alimentación describe que los consumidores están interesados en alimentos diversos, que además del aporte nutricional también le aporte algún beneficio a la salud (Camou, 2014). El utilizar materias primas de costo bajo que puedan proporcionar un valor agregado a sus fuentes originales y al procesamiento del cual se obtienen son las tendencias recientes de los alimentos funcionales (Chávez *et al.*, 2014).

En los países con una economía alta, las modificaciones en los hábitos de consumo de carne son influenciadas por las evaluaciones de las características del producto por parte del comprador, así como también por la importancia de los problemas de salud, ecología y ética, según sea el caso. Por otro lado, las elecciones del consumidor podrían variar en relación con productos innovadores con aporte de características saludables y con cierto tipo de carne, las etiquetas pueden ser cruciales para la elección de dichos alimentos. Es relevante para los fabricantes de productos cárnicos funcionales y de productos cárnicos con propiedades nutricionales y saludables, tomar en cuenta los efectos de los análisis sensoriales y el efecto de la información del consumidor, ya que tienen

un gran impacto en la aceptación del producto. La alta división del mercado de los productos cárnicos y los posibles segmentos que pudieran desarrollarse para lograr cumplir la preocupación de las personas en cuanto al impacto ambiental, bienestar animal, impacto de la huella de carbono, salubridad y sostenibilidad, son oportunidades a futuro para los productores de dichos alimentos. Es por ello que la industria de los productos cárnicos debe estar preparada para enfrentar estos desafíos globales al momento de elaborar sus productos (Santeramo *et al.*, 2018). En todo el mundo producen mejoras a las tecnologías, las investigaciones académicas e industriales en este ámbito (Tarté, 2018).

## 2.6. Garbanzo (*Cicer arietinum L.*) Variedad Blanoro

Debido a que en la formulación del producto tipo salchicha de la presente investigación, se usó garbanzo hidratado como uno de los ingredientes con aporte proteico y fibra y mejorador de la textura del producto, se incluye aquí una breve revisión de literatura de la composición química del garbanzo y sus impactos químicos, nutricionales y funcionales como alimento.

Uno de los cultivos más importantes para la economía mundial es el garbanzo. Se cultiva en aproximadamente 10 millones de hectáreas en el mundo. Principalmente se cultiva en la India, Pakistán y Turquía. En Europa, los principales productores son España, Italia y Portugal, mientras que en latinoamérica, la mayor parte se produce en México y Argentina (Vargas-Blandino, *et al.*, 2021). En México, los estados del noroeste de México como Sonora, Baja California Sur y Sinaloa, son el sector que produce garbanzo para exportación (Murrieta *et al.*, 2016). En el Campo Experimental Costa de Hermosillo en 1997 se obtuvo la variedad Blanoro mediante la cruce triple: (L-4924 x 'Blanco Lechoso') x Blanco Sinaloa-92 (Herrera *et al.*, 2014).

Con el fin de favorecer características de los alimentos como los atributos sensoriales, siendo un ejemplo principal la textura, hoy en día se estudia la proteína vegetal en forma de harina como la de las leguminosas, dado a sus propiedades las cuales producen un aumento en el rendimiento al procesar los alimentos. Aunado a esto tienen efectos benéficos en cuanto a características fisicoquímicas, funcionales y alto valor nutricional (Navarro *et al.*, 2014).

En el Cuadro 3 se presenta el aporte nutricional del garbanzo cocido, seco y en forma de humus (receta convencional), donde se puede observar que algunos nutrientes como la proteína disminuyen después de la cocción, mientras que el selenio aumenta con la misma.

Cuadro 3. Perfil nutricional del garbanzo y humus de garbanzo

<b>Nutriente</b>	<b>Unidad</b>	<b>Garbanzo seco</b>	<b>Garbanzo cocido</b>	<b>Humus</b>
Energía	Kcal	378	164	166
Proteína	g	20.47	8.86	7.90
Grasa	g	6.04	2.59	9.60
Carbohidratos	g	62.95	27.42	14.29
Fibra	g	12.2	7.6	6.0
Hierro	g	4.31	2.89	2.44
Fósforo	g	252	168	176
Folato	µg	557	172	83
Calcio	g	57	49	38
Magnesio	g	21.306	1.030	0.773
Selenio	µg	0	3.7	2.6

Fuente: Wallace *et al.* (2016).

### 2.6.1. Aporte Nutricional y Propiedades Funcionales del Garbanzo Blanoro

En el Cuadro 3 se muestra el aporte nutricional del garbanzo, siendo fuente de proteína, fibra dietética, almidón resistente, ácidos grasos poliinsaturados, vitaminas y minerales, especialmente folato, calcio, magnesio y potasio (USDA, 2016). El aplicar calor mediante tratamiento térmico provoca la inactivación y/o destrucción de antinutrientes susceptibles a las altas temperaturas presentes en las legumbres como el garbanzo, favoreciendo así la calidad de las proteínas de estas (Wallace *et al.*, 2016). Por lo tanto, la temperatura también trae beneficio no solo a la salud, si no a la industria de los alimentos, ya que se ha demostrado que aumenta la capacidad de gelificación y capacidad de retención de agua. Se considera que el garbanzo en forma de harina sería buena opción para enriquecer distintos alimentos ya que también se ha encontrado que posee capacidad antioxidante (Ponce *et al.*, 2020). Algunos de los principales compuestos bioactivos dietéticos que

contiene el garbanzo tanto crudo como cocido son esteroides, ácido fólico, carotenoides, taninos, y diversos polifenoles como las isoflavonas, por lo tanto, pueden ofrecer un beneficio más allá del aporte nutricional. Entre los beneficios a la salud humana que se ha encontrado en relación con el consumo de garbanzo y/o hummus implica la respuesta de glucosa e insulina, control de peso y salud gastrointestinal (Wallace et al., 2016). Los carbohidratos del garbanzo son de lenta absorción, por lo que la glucosa pasa a la sangre de forma progresiva, impidiendo que ocurra un sobreesfuerzo del páncreas en la secreción de insulina. Además de que es rico en fibra, lo que provee un efecto de saciedad elevado, mejorando el control de peso, así como el tránsito intestinal, combatiendo el estreñimiento (Mallor, 2020).

### **2.6.2. Aporte Nutricional del Humus como Producto Derivado de Garbanzo**

El humus es un producto derivado del garbanzo, es de origen árabe y su significado describe al puré de garbanzo y al garbanzo (Avieli, 2015). Sus ingredientes tradicionales son garbanzos cocidos y en forma de puré, tahini, aceite de oliva, jugo de limón y especias, en conjunto forman una salsa. Por lo tanto, el humus tiene un aporte nutricional similar al del garbanzo. Sin embargo, no son equivalentes como se puede observar en el Cuadro 3, ya que el procesamiento del garbanzo puede alterar la biodisponibilidad y bioaccesibilidad de algunos nutrientes (Cilla *et al.*, 2019). Es importante resaltar que, gracias a su composición, el consumir al día cuatro cucharadas de hummus tradicional a base de garbanzos equivale a alrededor de 25 gramos de fibra dietética (nutriente la mayoría de las veces de bajo consumo en niños y ancianos) y 2 tazas de legumbres por semana. Esta es una gran oportunidad para favorecer el contenido nutricional de los productos alimenticios (Wallace *et al.*, 2016).

### **2.7. Salchicha tipo Frankfurt**

Uno de los productos que se pueden elaborar a partir de una matriz cárnica son los embutidos. Jiménez *et al.* (1989) definen a los embutidos como “aquellos productos y derivados cárnicos

preparados a partir de una mezcla de carne picada, grasas, sal, condimentos, especias y aditivos e introducidos en tripas naturales o artificiales”

La USDA (2011) reporta que “Los embutidos (también conocidos como salchichas o henchidos) están crudos o listos para comer. Se encuentran como secos, semisecos y/o cocidos. Los embutidos secos pueden estar ahumados, sin ahumar o cocidos. Los embutidos semisecos son usualmente calentados en ahumadores hasta cocinarlos completamente y secarlos parcialmente. Los embutidos cocidos (por ejemplo, bolonia y embutidos “frankfurters”) son cocidos y pueden también ahumarse. Menciona que pueden estar hechos de aves, carne roja o una mezcla de ambas. Los embutidos sin cocinar incluyen aquellos frescos (en grandes tamaños, en croquetas o enlaces) y los embutidos ahumados”

La FAO (2014) clasifica a las salchichas como embutidos escaldados. La consistencia de estos productos es suave, su humedad es elevada y considera que su duración en refrigeración es corta. Un tipo de salchicha es la salchicha Frankfurt, dentro de sus ingredientes aparte de la carne de cerdo ya antes mencionada (recientemente también hay de pollo y pavo) incluye grasa subcutánea (lardo de cerdo) de cerdo, sal, agua, especias, en muchas ocasiones también proteínas de origen vegetal, leche en polvo, conservantes y antioxidantes (MAGRAMA, 2016).

### **2.7.1. Información Nutricional y Consumo de Salchicha tipo Frankfurt en México y el Mundo**

El consumo de las salchichas tipo Frankfurt es amplio en todo el mundo, es uno de los alimentos que encabeza a la llamada comida “rápida” (MAGRAMA, 2016). La cantidad de grasa en la salchicha (20 - 27%) influye principalmente en su valor nutricional, sin embargo, otros factores que también tienen que ver son la marca comercial y la variedad.

Este tipo de salchichas tienen entre 100 y 300 Kcal por salchicha. A diferencia de los embutidos como el chorizo, estas salchichas poseen contenido de agua más elevado y grasa insaturada en mayor proporción que la saturada. En cuanto a su contenido de proteína, esta es más elevada en comparación con la carne fresca, ya que se agrega proteína no cárnica al producto. Su contenido de carbohidratos se ve influenciado al añadir la harina, almidón o la fécula y oscila entre 0.4% y

un 8.4%. Entre los minerales que destacan están: hierro, magnesio, fósforo, selenio, zinc. Las vitaminas en mayor cantidad en este producto con las del grupo B, tiamina, riboflavina y niacina (MAGRAMA, 2016).

El Consejo Mexicano de la Carne informó que el consumo de embutidos en México cada vez es más elevado puesto que en 2011 el consumo per cápita fue de 7.8 kilogramos y en 2017 fue de 8.6 kilogramos, siendo la salchicha el producto que ocupa el primer lugar en consumo de estos embutidos. Se reconoce a la salchicha como un producto de alta calidad proteica (Comecarne, 2017). Por otro lado, en el último compendio del Consejo Mexicano de la Carne, se estimó que la producción de salchichas aumentó 1.99% del 2019 al 2021 (Comecarne, 2021).

Es conveniente y de interés reformular a la salchicha convencional para fabricar una salchicha con ingredientes naturales que aporten nutrientes que presentan deficiencia en la población y que esta, a su vez, sea accesible.

### **3. HIPÓTESIS**

La incorporación de hígado de cerdo en salchichas mejora su perfil nutricional aportando hierro, zinc, selenio y retinol, sin demérito en las propiedades fisicoquímicas y cantidad de retinol durante el almacenamiento en refrigeración.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. Objetivo General

Desarrollar un producto cárnico tipo salchicha adicionado con hígado de cerdo como fuente de retinol, hierro, zinc y selenio, y evaluar la calidad durante el almacenamiento en refrigeración.

### 4.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar la materia prima utilizada para la elaboración del producto mediante análisis proximal, pH, color instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), minerales, retinol y perfil de ácidos grasos.
2. Determinar la calidad mediante, rendimiento por cocción, análisis proximal, cloruro de sodio, perfil de ácidos grasos y minerales (Fe, Zn y Se).
3. Determinar el efecto del tiempo de almacenamiento en refrigeración, a 2 °C durante 60 días, sobre el crecimiento de microorganismos, la calidad fisicoquímica y nutricional del producto cárnico mediante análisis microbiológico, determinación de pH, color instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), textura (APT y esfuerzo al corte), análisis de TBA y retinol.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Diseño Experimental

Se estudió el efecto de la incorporación de hígado de cerdo (HC) sobre la calidad de salchichas de cerdo almacenadas en refrigeración. Los tratamientos evaluados fueron: 1) HC 0%, 2) HC 4%, 3) HC 8% y 4) HC 12%. El trabajo se planeó en tres etapas. En la primera, se caracterizó la materia prima (HC y carne de cerdo) evaluando la composición proximal, pH, color instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), minerales, retinol y perfil de ácidos. En la segunda etapa, en las salchichas cocidas se evaluó rendimiento por cocción, análisis proximal, contenido de cloruro de sodio, perfil de ácidos grasos y contenido de minerales (Fe, Zn, Se), únicamente el día cero. Por último, durante la tercera etapa de la investigación se realizó un estudio de calidad a través del tiempo de almacenamiento de las salchichas en refrigeración a 2 °C y evaluadas a los días 0, 12, 24, 36, 48 y 60. Las evaluaciones de calidad fueron: análisis microbiológico, determinación de pH, color instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), textura (APT y esfuerzo al corte), análisis de TBA y retinol. Los experimentos fueron repetidos dos veces y en cada repetición, todas las evaluaciones se realizaron por triplicado.

### 5.2. Selección de los Ingredientes

Se seleccionó como materia prima carne del músculo *semimembranoso* e hígado de cerdo (NORSON®, México) y se utilizó el mismo día de su compra. A la carne se le retiró el exceso de grasa y tejido conectivo superficial. Se cortó en trozos no mayores a 5 cm<sup>3</sup> y se molió en un molino de carne (modelo 4152, Hobart Dayton, Ohio USA). Los aditivos usados incluyeron fosfatos, eritorbato de sodio, sal cura, cloruro de sodio y condimento, así como también garbanzo, los cuales fueron obtenidos del comercio local de la ciudad.

### 5.3. Preparación de los Tratamientos

Las formulaciones de los tratamientos evaluados se presentan en el Cuadro 4. Para el desarrollo de los tratamientos, se formó una emulsión cárnica a base de carne de pierna e hígado de cerdo, sal, fosfatos, eritorbato de sodio, sal de cura, garbanzo y condimento comercial. La carne se redujo a un mínimo tamaño de partícula en una cutter (Kilia CO., Kiel, Alemania) y se incorporó el hielo y los aditivos ya mencionados, se mantuvo la temperatura de la emulsión menor a 10 °C. Se agregó el garbanzo hidratado previamente cocido (100 °C por 2 h), descascarado y molido, y se continuó picando por 1 min para mezclar. Después, se aplicó vacío al final del proceso y la emulsión cárnica que se obtuvo se embutió en fundas de celulosa de 2 cm de diámetro con una embutidora (Omet ICS60-B, Siena, Italia). Las salchichas se sometieron a dos tratamientos térmicos: i) cocción donde se sometieron a tres etapas de temperatura 60, 70 y 80 °C hasta una temperatura interna en el producto final de 71 °C en un horno (Enviro-Pak Mp 1000, Oregón, EUA), y ii) pasteurización a una temperatura de 80 °C por 20 min. Este último tratamiento se hizo en salchichas empacadas al vacío.

Cuadro 4. Porcentaje de ingredientes en la formulación de tratamientos de salchichas de cerdo adicionados con hígado de cerdo (HC)

Ingrediente <sup>1</sup>	HC0	HC4	HC8	HC12
Carne de cerdo 90:10	55	55	55	55
Hígado de cerdo	0	4	8	12
Garbanzo hidratado	20	20	20	20
Agua/hielo	22.31	18.31	14.31	10.31
Sal	1	1	1	1
PO <sub>4</sub>	0.5	0.5	0.5	0.5
NO <sub>2</sub> /sal cura al 10%	0.14	0.14	0.14	0.14
Eritorbato de sodio	0.05	0.05	0.05	0.05
Condimento	1	1	1	1
Total	100	100	100	100

<sup>1</sup>datos presentados en g/100 g. HC0: Tratamiento con adición de 0% de HC; HC4: Tratamiento con adición de 4% de HC; HC8: Tratamiento con adición de 8% de HC; HC12: Tratamiento con adición de 12% de HC.

#### 5.4. Composición Proximal

El análisis proximal (humedad, ceniza, grasa y proteína) se determinó de acuerdo a los procedimientos recomendados por la AOAC (2002), se efectuaron por triplicado para cada tratamiento. El contenido de humedad se determinó secando 5 g de muestra en una estufa a 100 °C durante 8 h hasta llevarla a peso constante calculando la diferencia de peso (método 950.46). Para la determinación de ceniza se colocaron 3 g de muestra en una mufla 550 °C durante 2 h, se calculó la ceniza por diferencia de peso (método 938.08). La determinación de grasa se realizó mediante el método de extracción goldfish, utilizando como solvente éter de petróleo (Sigma Aldrich Co.), se calculó el contenido de grasa por diferencia de peso (método 930.29). La determinación de proteína se realizó por el método de microkjeldahl (método 981.10) utilizando un factor de conversión de nitrógeno a proteína cruda de 6.25 mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Proteína (\%)} = \frac{N1*(V1-V2)*0.014007*6.25*100}{W1} \quad (\text{Ec. 1})$$

Dónde: N1 = normalidad del HCl, V1 = volumen (mL) gastados de HCl para titular la muestra, V2 = volumen (mL) gastados de HCl para titular el blanco, W1 = peso (g) muestra.

#### 5.5. Rendimiento por Cocción

El rendimiento de procesado para las salchichas se calculó como la diferencia de peso antes y después de la cocción del producto almacenado en refrigeración a  $0 \pm 2$  °C durante 8 h, mediante la siguiente ecuación:

$$R (\%) = \frac{\text{Peso después de Cocción}}{\text{Peso antes de Cocción}} \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

## 5.6. Contenido de Minerales

Se determinó la concentración de hierro, zinc y selenio, por el método oficial 968.08 AOAC (2000). Para hierro y zinc, se tomaron 0.3 g de muestra previamente liofilizada por 48 h (Freezone 77530-00 labconco Kingston, EUA). Se agregaron 5 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado (Sigma Aldrich Co.) aforándose a 50 mL con agua destilada. Esta mezcla se digirió por 4 h a 140 °C, empleándose placa de calentamiento y un lecho de arena. La cuantificación de los minerales se realizó en un Espectrofotómetro de Absorción (Varian, SpectAA 240 FS, Victoria, Australia) usando una flama aire-acetileno. Para la determinación de la concentración de selenio, se realizó una dilución, tomando 10 mL de la muestra preparada anteriormente (hierro y zinc), posteriormente se añadió 1 mL de HCl concentrado (Sigma Aldrich Co.) y 9 mL de agua destilada, para después calentar a baño maría por 45 min a ebullición (90-100 °C). Finalmente se leyó en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica acoplado a un generador de hidruros.

## 5.7. Perfil de Ácidos Grasos

La determinación del perfil de ácidos grasos se llevó a cabo de acuerdo con lo reportado por Bligh y Dyer (1959). Se tomaron aproximadamente 40 g de muestra, los cuales fueron homogenizados. Posteriormente, se añadieron 10 mL de metanol grado reactivo y homogenizados durante 1 min a 11,000 g (Ultraturrax IKA modelo T25). Se agregó 20 mL de cloroformo grado espectrofotométrico, con una pureza del 98.5% y homogenizó durante 2 min a 13,520 g. Una vez homogenizado, las muestras se filtraron a través de un papel Whatman #1, realizándose un lavado de la muestra con 3 mL de cloroformo/metanol (en una proporción 2:1).

Después, se vertió la muestra filtrada en embudo de separación y se agregó cloruro de potasio al 0.88% en agua (3 mL aproximadamente de KCl) hasta obtener una fase superior de 1 cm. Se colectó en un segundo embudo de separación la fase inferior (cloroformo y lípidos), donde se realizó un lavado con 2 mL de agua destilada y 2 mL de metanol, tomándose la fase inferior (cloroformo y lípidos). Por último, mediante un flujo de nitrógeno se removió el aire presente en los viales.

La derivatización de los ácidos grasos se realizó según lo reportado por Park y Goins (1994). Se

identificaron y pesaron tubos con tapón de baquelita a los cuales se les vertió el extracto lipídico obtenido. Se introdujeron a un baño maría a 40 °C y se evaporó el solvente de los extractos por medio de un flujo de nitrógeno. Se obtuvieron aproximadamente 150 mg de grasa libre de solventes, se les agregó 4 mL de NaOH (0.5 N en metanol). La mezcla fue agitada ligeramente hasta lograr una solución homogénea. El aire se evacuó mediante una inyección de flujo de nitrógeno y se cerró el tubo con el tapón de baquelita. Posteriormente, se calentó a 90 °C por 10 min en un baño maría. Transcurrido el tiempo, las muestras fueron enfriadas a temperatura ambiente y se adicionaron 5 mL de trifluoruro de boro al 14% en metanol. Se desplazó el aire con un flujo de nitrógeno y se cerró el vial.

Las muestras fueron calentadas nuevamente en un baño maría a 90 °C durante 7 min. Las muestras fueron enfriadas a temperatura ambiente, se les agregó 4 mL de hexano y se calentaron durante 2 min bajo las condiciones anteriormente mencionadas. Posteriormente, dejaron enfriar a temperatura ambiente y se les agregó 1 mL de cloruro de sodio saturado (37 g de NaCl/100 mL de agua destilada). Por último, se tomó exclusivamente la fase cristalina superior por medio de una pipeta de transferencia y realizó una filtración a través de fibra de vidrio, colectándose en un vial para almacenar. Al momento de realizar la inyección, se vertieron 100 µL de la muestra más 100 µL de heptano en un microinserto contenido en un vial de 2 mL para cromatógrafo.

La composición de los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) se realizó en un cromatógrafo de gases Agilent (Modelo 7890 B, Santa Clara, CA, EE. UU.) equipado con un automuestreador (Modelo 7693) y un detector de ionización de flama (FID). Los ácidos grasos se separaron en una columna capilar de sílice fundida de 100 m x 0.25 mm (diámetro interno) (SP-2560, Supelco, Bellefonte, PA, EE. UU.). La temperatura del horno se programó desde una temperatura inicial de 150 °C (20 min) hasta una temperatura final de 220 °C a una velocidad de 5 °C/min. La temperatura del inyector se fijó en 250 °C y la temperatura del FID en 300 °C. Las muestras se corrieron usando hidrógeno a una presión de 17 psi como vehículo y nitrógeno como gas de relleno. Los cromatogramas se integraron en el software Chestation (ChemStation, Agilent Santa Clara, CA, EE. UU.). Los ácidos grasos se identificaron comparando los tiempos de retención con los de estándares comerciales (Supelco 37 Component FAME Mix, Bellefonte, PA, EE. UU.). Los ácidos grasos se expresaron como porcentaje del total de ácidos grasos detectados. Se calcularon los porcentajes totales de ácidos grasos saturados (AGS), ácidos grasos monoinsaturados (AGM), ácidos grasos poliinsaturados (AGP) y relación AGP/AGS. Se determinaron los perfiles tomando

el área bajo la curva de los diferentes picos como porcentaje de la suma total de picos identificados.

#### 5.8. Determinación de Cloruro de Sodio

La determinación de cloruro de sodio se realizó siguiendo la técnica reportada por González-Méndez *et al.* (1985). Se colocaron en un matraz volumétrico de 100 mL, cinco gramos de muestra molida con mortero y 20 mL de agua destilada para después someterse a 100 °C durante una hora en un baño maría. Posteriormente se enfriaron a temperatura ambiente y se agregaron 2 mL de ferrocianuro de potasio al 15% (Sigma Aldrich Co.) y 2 mL de acetato de zinc al 30% (Sigma Aldrich Co.) se aforaron a 100 mL con agua deionizada. Posteriormente se filtraron (papel Whatman No. 41) y del filtrado se tomaron 100 µL a los cuales se les determinó la concentración de cloro utilizando un clorohidrómetro (Chloride Analyzer M925, Corning, New Jersey, EUA). Los resultados se presentaron en porcentaje de cloruro de sodio en la muestra.

#### 5.9. Análisis Microbiológico

Se determinó la calidad microbiológica de las salchichas durante su almacenamiento en refrigeración a  $0 \pm 2$  °C. Se tomaron 10 g de muestra y se colocaron en bolsas estériles con 90 mL de agua peptonada (0.1%). Se homogenizó la muestra, se prepararon diluciones decimales apropiadas y se vertió 1 mL en placas petri con PCA (agar para cuenta estándar, por sus siglas en inglés) y se realizaron duplicados por dilución. Se utilizó la técnica descrita por la Norma Oficial Mexicana, para la cuenta estándar de bacterias aerobias vaciado en placa (NOM-092-SSA1-1994). Todas las cuentas microbianas se convirtieron a log<sub>10</sub> de unidades formadoras de colonias (UFC) por g de muestra.

## 5.10. Análisis Fisicoquímicos

### 5.10.1. Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH se midió directamente de las muestras, utilizando un potenciómetro de punción (Model HI98140, Hanna, Woonsocket, RI, USA). El análisis se realizó por triplicado a una temperatura de 25 °C.

### 5.10.2. Color Instrumental (CIE $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ )

El color se evaluó en la superficie de cada muestra cocinada y materia prima cruda (carne e hígado de cerdo). Previo a la medición, las muestras se mantuvieron a temperatura ambiente ( $25 \pm 2$  °C) por 5 min. Se utilizó un colorímetro (Chroma meter CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japan) con iluminante D65, observador de 10° y apertura de 11 mm del instrumento para iluminación y 8 mm para medición. Un cristal espectralmente puro (CRA51:Minolta Co.) se colocó entre la muestra y el equipo. Se realizaron 5 determinaciones por muestra y se reportó el promedio por tratamiento. La medición de color abarcó la determinación de los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . Donde el parámetro de color  $L^*$  representa la luminosidad y tiene una escala que va desde 0 que es negro total, hasta 100, que representa un blanco perfecto. El valor  $a^*$  tiene una escala de -60 a +60, siendo el rojo positivo y verde cuando es negativo. El valor  $b^*$  toma una escala de -60 a +60 y determina el color amarillo si los valores son positivos y azul cuando son negativos.

### **5.10.3. Análisis de Perfil de Textura (APT)**

El APT se realizó en un texturómetro Texture Analyzer TAXT2 (Stable Micro Systems, Ltd, Godalming, Surrey, K). Se siguió la metodología descrita por Bourne (2002). De cada salchicha cocida se tomaron muestras de dimensiones uniformes (2 cm de diámetro x 3 cm de largo). Para los análisis se utilizó un dispositivo de 75 mm de diámetro unido a una celda de carga de 50 kg, aplicando una doble compresión al 50% de deformación con una velocidad de cabezal de 5 mm/s, con tiempo de espera de 5 s entre compresión, generando una curva de fuerza vs tiempo para cada muestra analizada. Los atributos de textura evaluadas fueron: dureza (N), elasticidad (cm), cohesividad (sin unidades) y masticabilidad (N x cm). La dureza estuvo representada por el pico máximo alcanzado durante la primera compresión. La elasticidad se calculó dividiendo la distancia desde el inicio de la segunda compresión hasta su pico máximo, entre la distancia del inicio de la primera compresión hasta su pico máximo. La cohesividad se determinó dividiendo el área bajo la curva de la segunda compresión entre el área bajo la curva de la primera compresión. La masticabilidad se calculó multiplicando los valores de dureza, elasticidad y cohesividad.

### **5.10.4. Esfuerzo al Corte**

Para las evaluaciones de esfuerzo al corte se utilizó un texturómetro Texture Analyzer TAXT2 (Stable Micro Systems, Ltd, Godalming, Surrey, K) siguiendo la metodología descrita por Bourne (2002). Las muestras fueron cortadas después de 24 h posteriores de la cocción. Para la evaluación de esfuerzo al corte se utilizaron muestras de 2 cm de diámetro y 3 cm de longitud. Se utilizó la navaja Warner Bratzler, unida a una celda de carga de 50 kg con una velocidad de cabezal de 5 mm/s, generando una curva de fuerza contra tiempo para cada muestra analizada. Los valores de fuerza de corte se reportaron en kg.

### 5.11. Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS)

Se cuantificaron las sustancias reactivas al ácido 2-tiobarbitúrico. Para ello, se homogenizaron 5 g de muestra con 15 mL de ácido tricloroacético (Sigma Aldrich Co.) a 11,000 rpm durante 1 min (Ultra Turrax IKA modelo T25), se mantuvieron los tubos sumergidos en baño de hielo con el fin de evitar la oxidación lipídica debido a un aumento de temperatura. Posteriormente, la muestra homogenizada se centrifugó a 592 g durante 30 min a 5 °C (Centrifuga refrigerada Thermo Scientific Legend XTR). Posteriormente el sobrenadante se filtró a través de un papel Whatman #1, se tomaron 2 mL del producto filtrado y se les adicionó 2 mL de ácido tiobarbitúrico (Sigma Aldrich Co.). Después, la muestra se homogenizó durante 30 s (Vortex Labnet S0200-230V-EUA) y se llevó a un calentamiento en un baño maría a 97 °C durante 20 min. Transcurrido el tiempo, los tubos se enfriaron y se midió la absorbancia de las muestras a 532 nm en un espectrofotómetro de UV-VIS (Agilent Technologies, Cary 60 UV-VIS). La oxidación lipídica, se calculó en base al contenido de TBARS mediante una curva patrón de 1,1,3,3-tetrametoxipropano y se expresó como mg de malonaldehído (mg MDA)/kg de muestra (Pfalzgraf *et al.*, 1995).

### 5.12. Contenido de Retinol

El contenido de retinol (vitamina A) se determinó mediante la metodología de Hess *et al.* (1991) realizando algunas modificaciones. Se pesó de 0.2 a 1 g de muestra molida, se adicionaron 1 mL de NaOH al 50% p/v (Sigma Aldrich Co.) y 1 mL de etanol absoluto (Sigma Aldrich Co.). Se mezclaron cuidadosamente y se colocaron a baño maría durante 10 min entre 70 y 80 °C. Posteriormente se sacaron los tubos y se volvieron a mezclar durante 10 s (Vortex Labnet S0200-230V-EUA), para regresarlos al baño maría por 20 min. Después se dejaron enfriar en baño de agua fría y se adicionaron 5 mL de hexano (Sigma Aldrich Co.) y se agitaron por 30 s (Vortex Labnet S0200-230V-EUA). Se pasaron a una centrifuga (Centrifuga refrigerada Thermo Scientific Legend XTR) a 1,500 g a 10 °C por 7 min. Se dejaron reposar hasta la formación de dos capas y se extrajo el hexano con pipeta de cristal a tubos de ensayo. Los tubos se pusieron a secar con flujo

nitrógeno para después añadir 1 mL de etanol (Sigma Aldrich Co.), posteriormente dicho etanol se vertió en viales. Se preparó el estándar interno de retinol en etanol (solución madre 1 mg/mL). El retinol se cuantificó por HPLC (Varian serie 9010 Inc EUA) con detector UV-Visible 9050 y una columna C-18 (10 cm x 4.6 mm DI, 3 $\mu$ m) a una longitud de onda a 325 nm. Los resultados se expresaron como mg retinol por cada 100 g de muestra.

### 5.13. Análisis Estadístico

Para la primera etapa, se presentaron valores promedio del contenido de minerales (Fe, Zn y Se), rendimiento de cocción, perfil de ácidos grasos, análisis proximal, contenido de cloruro de sodio de la materia prima. Para la segunda etapa, se utilizó un diseño completamente al azar, donde se evaluaron el contenido de minerales (Fe, Zn y Se), rendimiento de cocción, perfil de ácidos grasos, análisis proximal y contenido de cloruro de sodio. Para la tercera etapa, se utilizó un arreglo factorial de dos factores para estudiar los efectos de la incorporación de hígado de cerdo (0, 4, 8 y 12%) y tiempo de almacenamiento (0, 12, 24, 36, 48 y 60 días) sobre la calidad de salchichas de cerdo. Las evaluaciones de calidad que se midieron fueron: análisis microbiológico, pH, color instrumental, análisis de perfil de textura, esfuerzo al corte, TBA y retinol. Para la etapa I y II, en el modelo estadístico se consideró como efecto fijo a los tratamientos (HC: 0, 4, 8 y 12%) y como efecto aleatorio, las repeticiones del experimento. En cada repetición, todas las variables de respuesta fueron analizadas por triplicado. Para el análisis de resultados se utilizó el paquete estadístico NCSS (Number Cruncher Statistical System, 2020, Kaysville, UT). Se estimaron significancias a un nivel de probabilidad en el error tipo I tipo de 0.05. Cuando se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó la prueba de Rango Múltiple de Tukey a un nivel de significancia de 0.05.

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan en tres etapas y cada etapa corresponde a cada uno de los objetivos específicos planteados para esta investigación. La etapa I corresponde a la caracterización de la materia prima, la etapa II al efecto de la adición de HC sobre la calidad de las salchichas únicamente el día cero y la etapa III al efecto de interacción del porcentaje de HC añadido y el tiempo de almacenamiento y efectos principales durante 60 días con el fin de evaluar la estabilidad del producto bajo condiciones simuladas de almacenamiento comercial.

A continuación se presenta la etapa I en la cual se evaluó análisis proximal, pH, color instrumental ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), minerales, retinol y perfil de ácidos del HC y la carne de cerdo.

### 6.1. Caracterización de la materia prima

En el Cuadro 5, se muestran los valores promedio del análisis proximal, pH, color instrumental, minerales y retinol del HC y carne de cerdo utilizados para la formulación de las salchichas de esta investigación. Destaca una alta proporción de proteína (18.3%) y baja proporción de grasa (2.25%) por parte de la carne, debido a que se utilizó un corte magro (músculo *Semimembrano*). Por otro lado, el hígado cuenta con mayor proporción de grasa (12.74%) que la carne. Así también, el HC presenta más del doble del contenido de cenizas que la carne de cerdo (2.95 vs 1.03%). En cuanto a la evaluación fisicoquímica, el valor de pH es muy similar en ambos, oscilando entre 5.64 y 5.98. En relación al color instrumental, el valor  $L^*$  es menor en el HC, tendiendo a ser más oscuro comparado con la carne. El valor  $a^*$  es más alto en la carne, por lo cual tiende más al color rojo si se compara con el hígado, mientras que el valor  $b^*$  es muy similar entre ambos ingredientes.

Respecto al aporte de minerales y retinol, se observa que el HC destaca en su contenido retinol, hierro, zinc selenio. El alto contenido de minerales en el HC explica el mayor su contenido de cenizas respecto a la carne.

El Cuadro 6, presenta los valores promedio de los ácidos grasos presentes en la materia prima. En base a los resultados, el hígado presenta mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados

(44.7%), seguido de los saturados (35.6%) y en menor proporción los monoinsaturados (19.7%). En cuanto a los ácidos grasos de la carne de cerdo, los de mayor proporción fueron los poliinsaturados (38.0%), seguido los monoinsaturados (32.9%) y en menor proporción los saturados (29.1%). El ácido graso monoinsaturado más abundante para ambos ingredientes fue el ácido oleico (C18:1*cis*), mientras que los ácidos grasos saturados más abundantes fueron el palmítico (C16:0), seguido del esteárico (C18:0). En cuanto al más abundante de los poliinsaturados destaca el ácido linoleico (C18:2 *cis*) seguido del araquidónico (C20:4 *n6*), éste último en mayor proporción en el HC.

Los resultados obtenidos en esta parte de la investigación muestran que los ingredientes utilizados para la formulación de los tratamientos tienen una alta calidad nutricional. La importancia de caracterizar la materia prima, además de conocer sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales, es que permitirá explicar el comportamiento de algunas de las evaluaciones de calidad realizadas en el producto final.

Cuadro 5. Composición<sup>1</sup> química proximal, pH, color, minerales y retinol de la carne e hígado de cerdo usados en la elaboración de las salchichas.

Evaluación	Materia prima <sup>1</sup>	
	Hígado de cerdo	Carne de cerdo
Humedad (%)	68.62 ± 1.46	67.73 ± 2.33
Grasa (%)	12.74 ± 0.21	2.25 ± 0.09
Proteína (%)	11.35 ± 0.50	18.30 ± 0.35
Cenizas (%)	2.95 ± 0.29	1.03 ± 0.15
pH	5.64 ± 0.04	5.98 ± 0.09
Valor <i>L</i> *	35.10 ± 0.87	52.35 ± 5.08
Valor <i>a</i> *	8.99 ± 1.03	17.39 ± 3.14
Valor <i>b</i> *	10.05 ± 2.66	11.77 ± 1.87
Hierro (mg/50 g)	76.51 ± 0.96	3.21 ± 0.19
Zinc (mg/50 g)	14.73 ± 0.05	6.59 ± 0.08
Selenio (µg/50g)	96.87 ± 3.59	64.92 ± 1.37
Retinol (µg/100g)	87603.06 ± 4353.08	29.99 ± 0.09

<sup>1</sup> media ± desviación estándar, n = 3

Cuadro 6. Perfil de ácidos grasos de hígado y carne de cerdo usados como materia prima

Ácido grasos <sup>2</sup>	Materia prima <sup>1</sup>	
	Hígado de cerdo	Carne de cerdo
C12:0	0.18 ± 0.10	0.00
C14:0	0.37 ± 0.02	0.54 ± 0.04
C16:0	18.80 ± 0.55	17.83 ± 2.70
C17:0	0.47 ± 0.66	0.00
C18:0	15.79 ± 1.15	10.73 ± 1.52
Σ saturados	35.61	29.11
C16:1	0.79 ± 0.07	1.51 ± 0.09
C17:1	0.12 ± 0.17	0.00
C18:1CIS	17.83 ± 1.18	22.99 ± 0.37
C20:1n9	0.48 ± 0.02	1.22 ± 1.73
C22:1	0.45 ± 0.01	7.18 ± 1.90
Σ mono insaturados	19.67	32.90
C18:2CIS	16.97 ± 0.74	19.03 ± 4.43
C18:3n3	0.24 ± 0.02	0.00
C20:2	1.00 ± 0.10	2.26 ± 1.57
C20:3n6	0.87 ± 0.02	2.32 ± 1.03
C20:3n3	0.00	1.63 ± 0.59
C20:4n6	25.06 ± 0.45	9.60 ± 1.78
C20:5	0.57 ± 0.30	3.15 ± 4.46
Σ poli insaturados	44.72	37.99

<sup>1</sup> Media ± desviación estándar de 5 determinaciones. <sup>2</sup> Valores expresados como porcentaje del total de ácidos grasos detectados.

A continuación se presentan los resultados de la etapa II, donde las evaluaciones fueron rendimiento por cocción, análisis proximal, contenido de cloruro de sodio, perfil de ácidos grasos y contenido de minerales (Fe, Zn, Se), únicamente el día cero posterior a la elaboración.

## 6.2. Rendimiento y Composición Proximal

En el Cuadro 7 se presentan los valores experimentales de rendimiento y composición proximal de los tratamientos evaluados. El rendimiento fue similar entre los tratamientos con un promedio de 87.75%. Es importante evaluar el rendimiento por cocción, ya que con él se evidencia la existencia de un adecuado balance entre los tratamientos y la rentabilidad de la elaboración del producto. El rendimiento obtenido en el presente estudio es adecuado y concuerda con lo reportado por otros autores para este tipo de productos (Nuckles *et al.*, 1990).

Por otro lado, la composición proximal varió dependiendo de la incorporación de HC en la formulación. Los valores de humedad, grasa, proteína, ceniza y carbohidratos, oscilaron en los rangos de 66.64 a 70.27, 5.43 a 6.192, 14.89 a 16.83, 2.05 a 2.54, y 6.96 a 7.80, respectivamente. Se observa que a medida que aumenta el contenido de HC en la formulación, el porcentaje de humedad disminuyó ( $p < 0.05$ ), y aumentaron ( $p < 0.05$ ) los contenidos de grasa, proteína, ceniza. Mientras que no se presentaron diferencias ( $p > 0.05$ ) en el contenido de carbohidratos. La variación en humedad se debió a que, en la formulación del producto, se utilizó menor cantidad de agua/hielo a medida que se incorporó el hígado de cerdo, esto para mantener un mismo balance entre los ingredientes donde la sumatoria de todos ellos fue de 100% (Cuadro 4). Mientras que el aumento de grasas, proteínas y cenizas, se debió a la mayor proporción de estos componentes en el HC, comparado con los de la carne, según se especifica en la caracterización de la materia prima (Cuadro 5).

Por otro lado, el contenido de carbohidratos no presentó diferencias entre los tratamientos ya que la única fuente de éstos son los provenientes de la harina de garbanzo, misma que fue añadida en una cantidad fija en la formulación (20%). Resultados similares fueron reportados por Drvǎguti *et al.* (2019) en salchichas adicionadas con hígado de cerdo y rábano picante donde su porcentaje de proteína osciló en alrededor de 18.41. Leite *et al.* (2015) reportaron también resultados parecidos en embutidos de carne de ovino y caprino con distintos porcentajes de grasa de cerdo añadida (0, 10 y 30), donde los porcentajes oscilaron entre 5.33 y 23.50, siendo el valor más bajo similar al de esta investigación, correspondiente a su formulación sin grasa de cerdo. Mientras que Ospina-E *et al.* (2014) presentaron resultados distintos en salchichas tipo Frankfurter elaboradas a base de carne de res (80:20), donde se sustituyó el porcentaje de grasa dorsal de cerdo (20 %) por aceites

vegetales, presentando porcentajes más altos de grasa comparados a los de esta investigación, los cuales oscilaron entre 22.39 y 22.96. Lo que demuestra que el sustituir la grasa en la formulación por harina de garbanzo da como resultado salchichas con menor contenido de grasa. Por otro lado, si se comparan las salchichas desarrolladas en este experimento con salchichas convencionales ofertadas en el mercado nacional (Cuadro 8), se aprecia que las salchichas de la presente investigación tienen un 50 a 55% menos contenido de grasa, además de 21 a 33% más proteína. Por otro lado, se observa que aunque la cantidad de carbohidratos es similar entre todos los productos, la ventaja de los desarrollados en la presente investigación es que, en comparación con los almidones tradicionales utilizados en la industria y que solo aportan calorías (USDA, 2021), la fuente principal de carbohidratos es la proveniente de la harina de garbanzo. Además de contribuir en las propiedades de textura del producto, es excelente fuente de fibra y micronutrientes como, hierro, fósforo, folato, calcio, magnesio y selenio (USDA, 2016). Otra de las ventajas de los productos de la presente investigación es que éstos aportan de 18 a 26% menos kcal en cada una, respecto a las ofrecidas en el mercado nacional. Por todo lo anterior, adicionar HC a la formulación y sustituir la grasa añadida en la formulación por harina de garbanzo, dió como resultado salchichas con un perfil nutricional que difiere de las que ofrece el mercado, tornando a un perfil más saludable y de interés para aquellos consumidores que buscan cuidar su salud.

Cuadro 7. Composición<sup>1</sup> química proximal y rendimiento por cocción de salchichas adicionadas con hígado de cerdo

Evaluación <sup>2</sup>	Tratamientos <sup>1</sup>				
	HC0	HC4	HC8	HC12	EEM
Humedad	70.27 ± 0.27 <sup>b</sup>	70.00 ± 0.30 <sup>b</sup>	68.90 ± 0.16 <sup>a</sup>	66.64 ± 0.43 <sup>a</sup>	0.17
Grasa	5.43 ± 0.19 <sup>a</sup>	5.61 ± 0.24 <sup>a</sup>	6.19 ± 0.24 <sup>a</sup>	6.19 ± 0.33 <sup>b</sup>	0.03
Proteína	15.25 ± 0.29 <sup>a</sup>	14.89 ± 0.26 <sup>a</sup>	15.82 ± 0.53 <sup>ab</sup>	16.82 ± 0.50 <sup>b</sup>	0.13
Cenizas	2.09 ± 0.06 <sup>a</sup>	2.05 ± 0.04 <sup>a</sup>	2.16 ± 0.08 <sup>a</sup>	2.54 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.24
Carbohidratos	6.96 ± 0.38 <sup>a</sup>	7.62 ± 0.10 <sup>a</sup>	7.51 ± 0.82 <sup>a</sup>	7.80 ± 0.95 <sup>a</sup>	0.38
Rendimiento	85.88	88.47	87.99	89.56	

HC0, sin adición de hígado, HC4, adición de 4% de hígado, HC8, adición de 8% de hígado, HC12, adición de 12% de hígado. Letras distintas dentro de un mismo renglón indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). <sup>1</sup>promedio ± desviación estándar, n = 5. <sup>2</sup> datos expresados en g/100 g de producto. EEM, error estándar de la media

Cuadro 8. Comparación de salchichas experimentales con salchichas comerciales

Evaluación	Salchichas Comerciales <sup>1</sup>			Salchichas Experimentales			
	Salchicha de pavo FUD	Salchicha de pavo CUIDA-T	Oscar Mayer Clásica	HC0	HC4	HC8	HC12
Peso promedio por salchicha (g)	51	52.4	45.2	50	50	50	50
Humedad (g)	33.4	35.2	26.9	35.13	35.00	34.45	33.32
Grasa (g)	6.1	6.1	8.9	2.72	2.72	2.80	3.10
Proteína (g)	6.3	5.8	5.4	7.62	7.44	7.91	8.41
Carbohidratos (g)	3.5	3.6	2.1	3.48	3.81	3.76	3.90
Fécula (almidón) (g)	0.4	2.5	NA	NA	NA	NA	NA
Aporte energético (kcal)	93.6	92.1	109.7	68.87	69.49	71.90	77.11
Origen de la proteína y/o grasa	Pavo, pollo, soya	Pavo, pollo, soya	Pavo, cerdo, pollo	Cerdo, hígado de cerdo	Cerdo, hígado de cerdo	Cerdo, hígado de cerdo	Cerdo, hígado de cerdo
Precio de venta MXN (100 g) <sup>3</sup>	7.76	8.18	17.93	10.49	10.74	10.98	11.23

<sup>1</sup> Datos de la Profeco (2020). HC0, sin adición de hígado, HC4, adición de 4% de hígado, HC8, adición de 8% de hígado, HC12, adición de 12% de hígado. NA, no adiciona. <sup>3</sup> Para las salchichas experimentales se estimó el precio de venta en base al costo de producción más un porcentaje de 50 % de utilidad y gastos de comercialización.

### 6.3. Perfil de ácidos grasos

Un constituyente de gran importancia en la alimentación, son las grasas, no solo por su aporte energético, sino porque los ácidos grasos esenciales y las vitaminas liposolubles están unidos a las grasas que contienen los alimentos (Monge-Rojas y Campos., 2006). Una manera de presentar la calidad de los lípidos en un alimento es mediante el perfil de ácidos grasos, abordando la proporción de los que lo conforman según el grado de insaturación y de saturación.

En el Cuadro 9 se presentan los valores porcentuales del perfil de ácidos grasos de los productos evaluados. No hubo diferencias entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ) para ninguno de los ácidos grasos identificados. Los ácidos grasos que se encontraron en mayor proporción para todos los tratamientos fueron los monoinsaturados (42.08 a 43.89%), seguido de los saturados (32.82 a 34.21%) y por último los poliinsaturados (22.56 a 24.13%). El ácido graso monoinsaturado más abundante para todos los tratamientos fue el ácido oleico (C18:1*cis*) variando de 38.17 a 40.1%, el cuál al ser consumido en la dieta, puede ayudar a reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Vivero *et al.*, 2019) ya que disminuye la expresión génica de la VCAM-I (Aguilera *et al.*, 2001). Por otro lado mejora la producción de la insulina y reduce la respuesta inflamatoria en forma de citoquinas como el factor de necrosis tumoral TNF- $\alpha$ . (Ferrer *et al.*, 2015). Mientras que los ácidos grasos saturados más abundantes fueron el palmítico (C16:0) seguido del esteárico (C18:0) encontrados en los rangos de 20.8 a 21.5% y 9.6 a 12.1%, respectivamente. El ácido palmítico, es el ácido graso más abundante presente en el organismo, cumple función estructural en el tejido nervioso y también tiene la función de permitir a las proteínas como la proteolípídica (PPL) moverse en un medio graso, como el sistema nervioso central. El ácido palmítico participa también en los procesos de gliogénesis, sinaptogénesis y mielinización. (González y Visentin, 2016). Así mismo, el ácido esteárico no ha presentado efectos negativos en la salud y se ha considerado en los alimentos procesados sustituir con ácido esteárico a los ácidos grasos saturados (Basulto *et al.*, 2009). En cuanto a los ácidos grasos poliinsaturados, el más abundante entre los tratamientos evaluados fue el ácido linoleico (C18:2 *cis*) con valores que oscilaron entre 18.7 y 19.8%. Este ácido graso tiene la capacidad de actuar como ligando activador de PPAR $\gamma$ , al estar activo estimula la diferenciación de los preadipocitos a adipocitos, provocando en esta célula un aumento en los receptores para insulina reduciendo así la resistencia a la insulina.

Otro de los mecanismos implicados es el papel protector de las células beta del páncreas del daño causado en la diabetes por el exceso de radicales libres (Rodríguez-Cruz *et al.*, 2005). Por otro lado, es de destacar que el hígado de cerdo genera un aporte importante de ácido araquidónico (C20:4 *n6*). Éste ácido graso forma parte de los ácidos grasos más abundantes que se encuentran en el cerebro y juega un papel importante y esencial en el crecimiento de éste; además, cumple un potencial rol protector en el envejecimiento de las neuronas a través de la preservación de la fluidez de las membranas de células del hipocampo (Orellana *et al.*, 2018).

Cuadro 9. Perfil de ácidos grasos de salchichas adicionadas con hígado de cerdo

Ácido graso <sup>2</sup>	Tratamientos <sup>1</sup>				
	HC0	HC4	HC8	HC12	EEM
C14:0	1.17	1.17	1.24	1.14	0.01
C16:0	20.81	20.85	21.53	20.79	0.29
C17:0	0.37	0.39	0.41	0.20	0.10
C18:0	11.43	11.72	9.64	12.08	1.19
Σ saturados	33.78	34.14	32.82	34.21	1.25
C16:1	1.70	1.61	1.76	1.61	0.04
C17:1	0.16	0.17	0.31	0.16	0.14
C18:1 <i>cis</i>	39.17	38.81	40.10	38.22	0.37
C20:1 <i>n9</i>	0.84	0.81	0.83	0.74	0.11
C22:1	0.22	1.43	0.89	2.50	0.87
Σ mono insaturados	42.08	42.83	43.89	43.23	0.78
C18:2 <i>cis</i>	19.73	19.47	19.85	18.73	0.37
C18:3 <i>n3</i>	1.05	1.14	1.18	1.05	0.04
C20:2	0.77	0.62	0.74	0.65	0.08
C20:3 <i>n6</i>	0.32	0.00	0.12	0.00	0.06
C20:3 <i>n3</i>	0.31	0.19	0.25	0.00	0.10
C20:4 <i>n6</i>	0.78	0.94	1.00	1.42	0.12
C20:5	1.17	0.67	0.14	0.72	0.58
Σ poli insaturados	24.13	23.03	23.29	22.56	0.67

HC0, sin adición de hígado, HC4, adición de 4% de hígado, HC8, adición de 8% de hígado, HC12, adición de 12% de hígado. No se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). <sup>1</sup> promedio de 5 determinaciones. <sup>2</sup> Porcentaje del total de ácidos grasos detectados.

#### 6.4. Contenido de Minerales

Es importante cuantificar los diferentes micronutrientes que componen a los alimentos, esto con el fin de conocer el aporte nutricional y en base a ello los beneficios que pudieran llegar a tener.

Los resultados sobre el contenido de minerales en los tratamientos evaluados se presentan en la Figura 1. El contenido de hierro (Figura 1A) en salchichas (50 g) se incrementó conforme se incrementó el porcentaje de adición de HC ( $p < 0.05$ ), y osciló en los rangos de 1.80 mg para el tratamiento sin HC a 10.02 mg en el tratamiento con 12% de HC. El hierro juega un papel importante en la síntesis de neurotransmisores y mielinización de neuronas y su deficiencia se ha asociado con un peor rendimiento cognitivo en los niños (Gashu *et al.*, 2016). En México en poblaciones menores de 100,000 habitantes, el 7.2% padecen esta deficiencia (ENSANUT, 2018). Por otra parte, el contenido de zinc (Figura 1B) en salchichas (50 g) se encontró en los rangos de 3.64 mg a 5.57 mg, siendo menor en el tratamiento con 0% de HC y mayor en el tratamiento con 12% de HC ( $p < 0.05$ ). El zinc posee un efecto directo en el crecimiento, desarrollo neurológico, conductual y en el sistema inmunológico, ya que tiene funciones catalíticas, estructurales y reguladoras (López de Romaña, 2010). Se ha encontrado que la deficiencia de zinc está correlacionada con hiperactividad, falta de atención e impulsividad (Elbaz *et al.*, 2017), así como también con el aumento de riesgo de infecciones del tracto respiratorio y diarrea (Engle-Stone *et al.*, 2014). En México en poblaciones menores de 100,000 habitantes, el 18.6% padecen esta deficiencia (ENSANUT, 2018).

En relación al selenio, el menor contenido en salchichas (50 g) se registró en el tratamiento sin adición de HC con un valor de 34.02  $\mu\text{g}$ , mientras que el tratamiento con 12% de HC presentó el valor más alto con 65.19  $\mu\text{g}$  (Figura 1C,  $p < 0.05$ ). El selenio es esencial en el metabolismo del organismo, a través de las denominadas selenoproteínas, teniendo funciones enzimáticas; actuando mediante la forma de selenocisteína. Atribuyéndoles papel importante en la función inmunológica, la regeneración de los sistemas antioxidantes, en el mantenimiento intracelular del estado redox y en la función hormonal del tiroides (López-Bellido y López Bellido, 2013). El déficit de selenio, puede llegar a afectar la función cognitiva, (Gashu *et al.*, 2016), mientras que la deficiencia severa y endémica se asocia principalmente a las enfermedades de Keshan y Kaschin-Beck (López-

Bellido y López Bellido, 2013). Se ha encontrado que el 15% de las personas que cuentan con malnutrición, presentan deficiencia de selenio (Sida-Arreola *et al.*, 2020).

Ante los resultados anteriormente expuestos, se observa que a medida que aumenta el contenido de HC en la formulación, el contenido de hierro, zinc y selenio también aumentan ( $p < 0.05$ ). Este aumento de cada uno de ellos se debe al aporte de estos minerales por parte del hígado de cerdo, ya que como se observa en el Cuadro 5, es una excelente fuente de dichos minerales ya que cuenta con una cantidad más elevada que en la carne de cerdo, presentando valores de hierro 76.51 mg/50 g, zinc 14.73 mg/50 g y selenio 96.87  $\mu$ g/50g.

Resultados similares encontraron León y Molina (2016), en salchichas tipo frankfurter adicionadas con suero lácteo e hígado y riñón de cerdo. Consideran que sus salchichas son altas en hierro, y encontraron que la formulación con mayor porcentaje de hígado, presentó el contenido más alto de hierro (3.26 mg/100 g). Comportamiento similar reportan Dalmás *et al.* (2011) en paté con distintos porcentajes de hígado y sangre de cabra, donde se encontró que en la formulación con mayor porcentaje de hígado y menor porcentaje de sangre, aumentó el contenido de zinc, siendo 2.27 mg/100 g el valor más alto presentado.

Así mismo, es importante destacar que de acuerdo al límite máximo recomendado para niños y adolescentes de 1 a 13 años de edad (Cuadro 10, en anexos) de cada uno de los minerales antes evaluados, no sobrepasan ninguno de los valores, por lo cual, no sería un riesgo presentar signos o síntomas de exceso. Por lo tanto, elaborar salchichas adicionadas con HC resulta en salchichas que aportan considerable cantidad de hierro, zinc y selenio, los cuales cumplen funciones vitales en el organismo y que son tan importantes para el buen desarrollo y funcionamiento del cuerpo humano. Es necesario seguir con estudios y evaluar bioaccesibilidad y biodisponibilidad de los micronutrientes abordados en el presente estudio, conocer los efectos en el organismo y con esto poder aplicar a poblaciones infantiles con el fin de cubrir un porcentaje de la cantidad diaria recomendada de cada uno de los minerales.

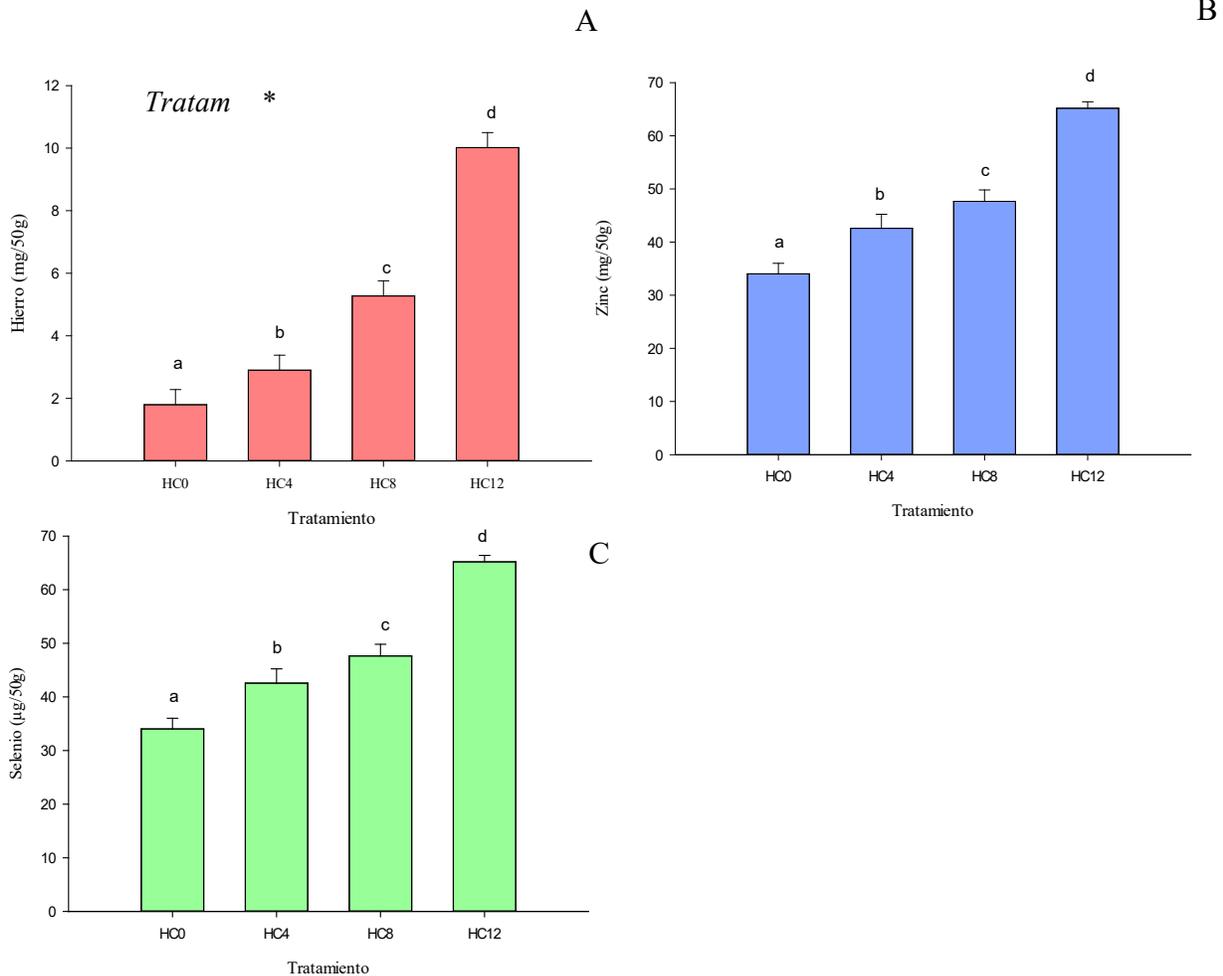


Figura 1. Contenido de hierro (A), zinc (B) y selenio (C) en salchichas de cerdo adicionadas con hígado de cerdo. HC0, sin adición de hígado, HC4, adición de 4% de hígado, HC8, adición de 8% de hígado, HC12, adición de 12% de hígado. <sup>abcd</sup> Barras con diferente literal, indican diferencia ( $p < 0.05$ ).

### 6.5. Contenido de Cloruro de Sodio

El cloruro de sodio, es uno de los ingredientes de suma importancia en la formulación de las salchichas, ya que tiene la función de conservar, dar sabor, solubilizar las proteínas, aumentar la capacidad de retención de agua y estabilizar la matriz cárnica (Feiner, 2006). Los resultados sobre el contenido de cloruro de sodio en los tratamientos evaluados se presentan en la Figura 2. No se encontraron diferencias ( $p > 0.05$ ) en cuanto al contenido de cloruro de sodio entre los tratamientos. El porcentaje de cloruro de sodio en las salchichas osciló entre 1.13 y 1.21%, respectivamente. A

partir de éstos valores, se calcularon los mg de sodio promedio en cada una de las salchichas (50 g), siendo 233.43 mg. Según las modificaciones de la NOM-051-SCFI/SSA1-2010, esta salchicha llevaría un etiquetado de ‘exceso de sodio’ ya que en 100 g contendría 466.86 mg, a pesar de ello, cuenta con alrededor de 53.31% menos de sodio que las salchichas comerciales comúnmente vendidas en el mercado (Profeco, 2020). El cloruro de sodio está presente en la dieta y es indispensable para el organismo, ya que cumple funciones que regulan los líquidos del cuerpo, así como también tiene un papel importante en los procesos de transmisión nerviosa (Díaz, 2016). Sin embargo, el consumo elevado de sodio es uno de los principales factores de riesgo asociados a enfermedades cardiovasculares, presión arterial elevada e infarto (Ruíz *et al.* 2016; Gaitan *et al.* 2015). Mencionado lo anterior, a futuras reformulaciones, se sugiere sustituir un porcentaje de sal de mesa añadida por sustituto de sal, como cloruro de potasio o mezclas de sales.

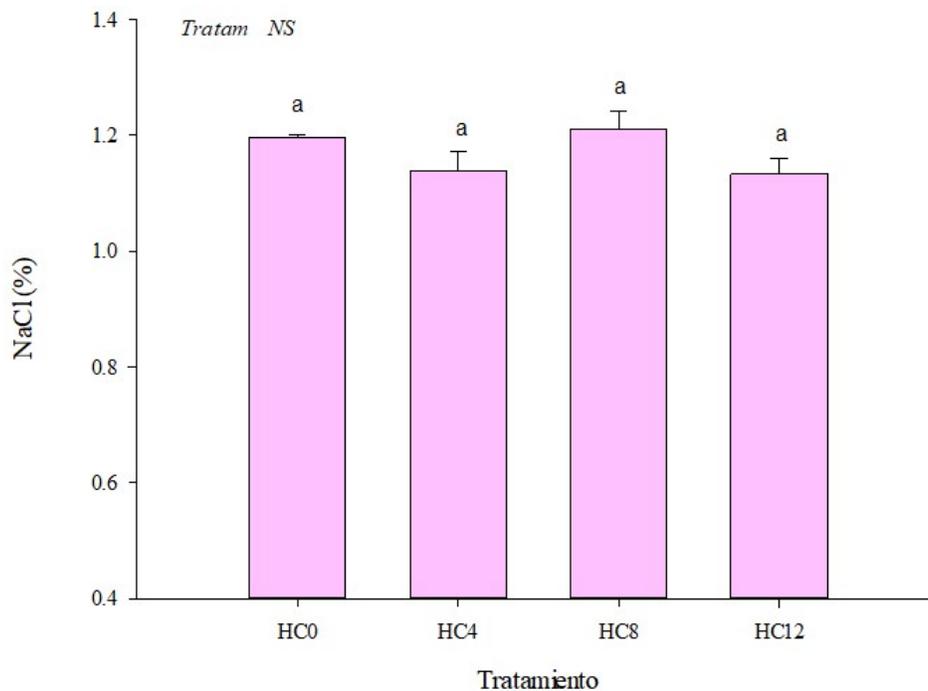


Figura 2. Contenido de cloruro de sodio en salchichas de cerdo adicionadas con hígado de cerdo HC0, sin adición de hígado, HC4, adición de 4% de hígado, HC8, adición de 8% de hígado, HC12, adición de 12% de hígado. <sup>a</sup>No se encontraron diferencias entre tratamientos ( $p > 0.05$ ).

A continuación se presenta la etapa III, en la cual se evaluó el crecimiento microbiológico, así como las propiedades fisicoquímicas de pH, color instrumental, APT, esfuerzo al corte, TBA y

contenido de retinol en salchichas adicionadas con HC en diferentes porcentajes. Las evaluaciones se realizaron a través del tiempo de almacenamiento a 4 °C los días 0, 12, 24, 36, 48 y 60 bajo condiciones simuladas de almacenamiento comercial.

## 6.6 Análisis Microbiológico

Lo que se busca mediante el almacenamiento de los alimentos, es conservarlos y mantenerlos de manera inocua y adecuada hasta el momento de su consumo. En base a la evaluación microbiológica para mesófilos totales (datos no reportados), no se encontró crecimiento de microorganismos a lo largo de 60 días de almacenamiento en refrigeración, lo cual indica una adecuada inocuidad del producto, esto gracias a la pasteurización implementada después de la cocción. En esta investigación se implementó un proceso de pasteurización que consistió en someter las salchichas empacadas al vacío a una temperatura de 80 °C por 20 min.

## 6.7. Análisis Físicoquímicos

### 6.7.1. Potencial de Hidrógeno (pH)

La medición del pH en los productos cárnicos es de suma importancia para establecer la efectividad de los conservadores, así como para regular las operaciones de fabricación de alimentos. Existe efecto de interacción ( $p < 0.05$ ) del porcentaje HC y los días de almacenamiento respecto al pH y se presentan en la Figura 3. Los valores de pH oscilaron entre 5.86 y 6.28. Se observa que, a medida que aumentó el HC en la formulación, mayor ( $p < 0.05$ ) es el pH y a medida que pasan los días de almacenamiento se presentó un ligero descenso ( $p < 0.05$ ). La disminución del pH no fue tan notable, debido a que no hubo crecimiento de bacterias lácticas, las cuales son comunes en este tipo de productos y son las que generalmente disminuyen este parámetro. El ligero descenso observado durante el tiempo de almacenamiento pudiera relacionarse con los productos de

oxidación generados por el propio HC en la formulación. Existe efecto de interacción ( $p < 0.05$ ) del HC añadido en la formulación y los días de almacenamiento respecto al pH, lo cual significa que el efecto de los tratamientos sobre el valor de pH fue en función del día en el que fue evaluado. Comportamiento similar reportaron Ponce-Fernández *et al.* (2020) en salchichas adicionadas con harina de garbanzo y polvo de tomate, donde sus valores oscilaron entre 6.22 a 6.02 y observaron una ligera disminución del pH a través del tiempo de almacenamiento. Atribuyeron dicho comportamiento a la interacción entre la harina de garbanzo y la carne. El descenso en el pH pudiera deberse a la rancidez propia de la salchicha durante el almacenamiento.

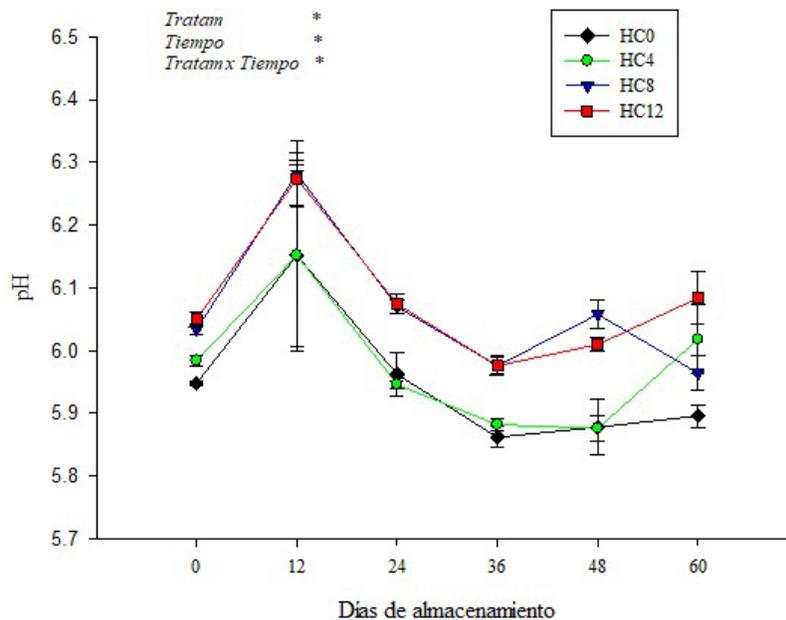


Figura 3. Valores de pH de las salchichas (media  $\pm$ error estándar) por efecto de la interacción porcentaje de hígado de cerdo añadido y días de almacenamiento. \* ( $p < 0.05$ ).

### 6.7.2. Color Instrumental (CIE $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ )

El color es un atributo visual que influye totalmente en la toma de decisiones de los consumidores de alimentos. Por lo tanto, es importante medir el color ya que con él es posible evaluar la apariencia de un producto final o los cambios que pueden ocurrir a lo largo de un proceso, en el caso de esta investigación el color proporcionado por un ingrediente no común como el HC, así como también, los días de almacenamiento.

No hubo efecto de interacción ( $p > 0.05$ ) del HC añadido y los días de almacenamiento respecto a los parámetros de color instrumental CIE  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , por lo tanto se explican solamente los efectos principales de tratamiento y tiempo de almacenamiento. Se observaron diferencias ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos para los parámetros de color instrumental CIE  $L^*$  (Figura 4A),  $a^*$  (Figura 4B) y  $b^*$  (Figura 4C) y también se encontraron diferencias ( $p < 0.05$ ) entre los días de almacenamiento en los parámetros de color instrumental CIE  $L^*$  (Figura 4D),  $a^*$  (Figura 4E) y  $b^*$  (Figura 4F). Los valores para  $L^*$  oscilaron entre 56.82 y 77.39. Se observó que a medida que aumenta el porcentaje de HC en la formulación, el valor de  $L^*$  (Figura 4A) disminuyó ( $p < 0.05$ ) y en cuanto a los días de almacenamiento (Figura 4D) se presentó una ligera disminución ( $p < 0.05$ ) en el día 12 y permaneció constante durante los demás días, teniendo como resultado, salchichas menos luminosas. La disminución del valor de  $L^*$  es atribuible al HC en la formulación, ya que como se observa en el Cuadro 5, su valor  $L^*$  tiende a 0, mientras que la propia oxidación de la salchicha se relaciona con la disminución de valor  $L^*$  a través del tiempo. Resultados similares presentaron Ponce-Fernández *et. al.*, (2020) en salchichas adicionadas con harina de garbanzo y polvo de tomate. Concluyeron que la salchicha control (la cual no contiene harina de garbanzo ni polvo de tomate) presenta menor valor  $L^*$  siendo 59.40, concluye que entre más harina de garbanzo se añada, el valor  $L^*$  aumenta y entre más días de almacenamiento pasen, disminuye.

En cuanto al valor  $a^*$ , osciló entre 7.88 y 15.86. Se observó que a medida que aumenta el HC en la formulación (Figura 4B), el valor  $a^*$  aumenta ( $p < 0.05$ ), por otro lado, respecto a los días de almacenamiento (Figura 4E), el valor  $a^*$  presentó una ligera disminución hubo una ligera disminución del tiempo cero respecto al tiempo 24 y 48, sin embargo los valores fueron uniformes a lo largo de todo el tiempo de almacenamiento ( $p < 0.05$ ). Lo anterior coincide con lo reportado por León y Molina (2016) en salchichas con hígado y riñón de cerdo, sus valores oscilaron entre 13.99 y 14.50, mencionan que el aumento en el valor  $a^*$  es debido a que las vísceras como el

hígado, cuentan con un considerable contenido de mioglobina, lo cual le confiere una coloración más roja. Por otro lado, la oxidación de la salchicha durante el almacenamiento se puede relacionar con la disminución del valor  $a^*$ , lo cual es relacionado al contenido de hierro presentado en las formulaciones con mayor HC.

Por otro lado, el valor  $b^*$  se encontró entre 15.40 y 19.61. No hubo impacto en el valor  $b^*$  con una incorporación de 4 y 8% de HC ( $p > 0.05$ ), disminuye ligeramente con 12% HC ( $p < 0.05$ ).

En cuanto a los días de almacenamiento (Figura 4D), el valor  $b^*$  presenta una ligera disminución, no obstante, presenta valores muy similares durante todos los días de almacenamiento ( $p < 0.05$ ).

Coincide con lo reportado por León y Molina (2016) quienes indican que entre menos contenido de vísceras se tenga en la formulación, mayor es el valor  $b^*$ . Dalmás *et al.* (2011) presentan resultados similares en paté con distintos porcentajes de hígado y sangre de cabra en la formulación, su valor  $b^*$  osciló entre 11.83 y 13.91, correspondiendo el valor más bajo a la formulación con más hígado añadido. Jiménez-Colmenero (2007), concluye que esto pudiera ocasionarse por un mayor contenido de ácidos grasos insaturados, ya que son más propensos a cambio de color por oxidación.

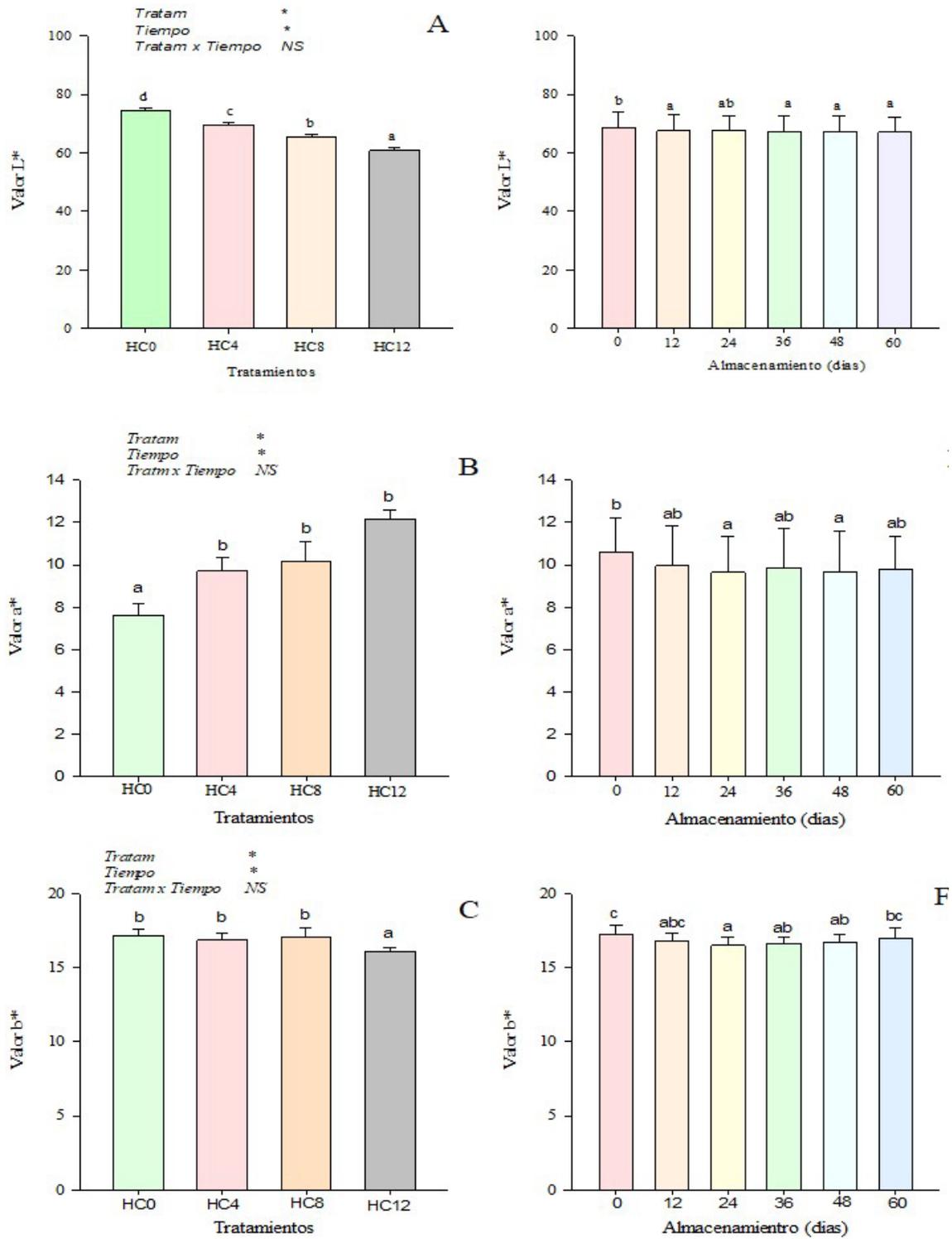


Figura 4. Efecto del porcentaje de hígado de cerdo añadido y días de almacenamiento respecto al valor  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  en salchichas. <sup>abcd</sup> Barras con diferente literal, indican diferencia entre tratamientos o días de almacenamiento ( $p < 0.05$ ).

### 6.7.3. Análisis de Perfil de Textura (APT)

Realizar la evaluación de la textura y el esfuerzo al corte, es sumamente importante, ya que son métodos instrumentales de análisis que resultan objetivos, y los cambios que se pudieran presentar en ambos repercutiría en la manipulación y aceptación del producto.

No hubo efecto de interacción ( $p > 0.05$ ) entre HC añadido y los días de almacenamiento respecto a los parámetros de perfil de textura elasticidad y cohesividad, por lo tanto se explican solamente los efectos principales de tratamiento y tiempo de almacenamiento. Mientras que por otro lado, si hubo efecto de interacción ( $p < 0.05$ ) entre HC añadido y los días de almacenamiento respecto a los parámetros de textura dureza y masticabilidad.

Existen diferencias ( $p < 0.05$ ) entre los tratamientos y los días de almacenamiento respecto a los valores de dureza (Figura 5), los resultados oscilaron entre 55.46 N y 99.51 N. Tuvo un comportamiento oscilatorio, observándose que entre mayor es el porcentaje de HC en la formulación y entre más días de almacenamiento pasen, la dureza aumentó ( $p < 0.05$ ). Esto genera que la salchicha necesite más fuerza para ser moldeada. Esto puede ser debido a que los tratamientos con mayor porcentaje de HC presentaron menor contenido de humedad, lo cual se relaciona con mayor dureza, así como el paso del tiempo y como se observó anteriormente, los distintos valores de pH en el tiempo, pudiera acercarse al punto isoeléctrico de las proteínas, lo cual provoca una disminución en la capacidad de retención de agua. En cuanto al valor de elasticidad, los resultados oscilaron entre 0.81 y 0.92. Se observó que, entre más HC (Figura 6A) se agregue a la formulación la elasticidad disminuye ( $p < 0.05$ ) y respecto a los días de almacenamiento (Figura 6B) se observó un aumento ligero el día 12, el cual se mantuvo durante los demás días. ( $p < 0.05$ ). Resultados similares presentaron Mora-Gallego *et al.* (2014) en salchichas con diferentes porcentajes de grasa dorsal y aceite de girasol evaluadas a través del tiempo, la elasticidad aumentó en promedio para todos los tratamientos, de 0.22 a 0.24.

Por otro lado, los valores de cohesividad se encontraron entre 0.55 y 0.84. Se observó que a mayor HC (Figura 7A) se agregue a la formulación, la cohesividad presentó una ligera disminución ( $p < 0.05$ ) y respecto a los días de almacenamiento (Figura 7B) se mantuvieron valores muy similares ( $p < 0.05$ ) durante todo el tiempo de almacenamiento. Resultados similares presentaron Berizi *et al.* (2017) en salchichas convencionales donde se sustituyó la grasa por inulina, su valor promedio fue de 0.79 y entre más aumentaba porcentaje de inulina en la formulación, la cohesividad

disminuyó alcanzando valores de 0.74. Esto se debe a la fuerza que existe de los enlaces internos que mantienen la estructura de la salchicha.

Tanto para elasticidad como para cohesividad, el comportamiento observado en ambos es debido a que las partículas de la proteína miofibrilar del hígado cuentan con uniones más débiles, por lo que sus partículas están menos unidas presentando menor elasticidad y cohesividad.

Continuando, los valores de masticabilidad oscilaron entre 27.04 N x cm y 60.25 N x cm. Se observó que a medida que aumenta el HC en la formulación, la masticabilidad (Figura 8) disminuyó ( $p < 0.05$ ) y conforme pasan los días de almacenamiento (Figura 8), ésta aumentó ( $p < 0.05$ ). El efecto de los días de almacenamiento, concuerda con los resultados de dureza, ya que, al ser una salchicha más dura, se requiere de mayor fuerza para masticar la salchicha hasta llegar un tamaño seguro para su ingesta. Al haber efecto de interacción ( $p < 0.05$ ) entre el HC y los días de almacenamiento respecto al valor de masticabilidad, significa que, el valor de masticabilidad dependió del día en el cual fueron evaluadas las muestras. Al contrario con los resultados de esta investigación, Choe *et al.* (2013) estudiaron las salchichas tipo frankfurter donde se sustituyó la grasa añadida por otro subproducto del cerdo como la piel y mezcla de fibra de trigo. Sus valores de masticabilidad oscilaron entre 12.40 N x cm y 20.63 N x cm y encontraron que entre más piel de cerdo y fibra de trigo se agregue a la formulación, aumenta el valor de masticabilidad.

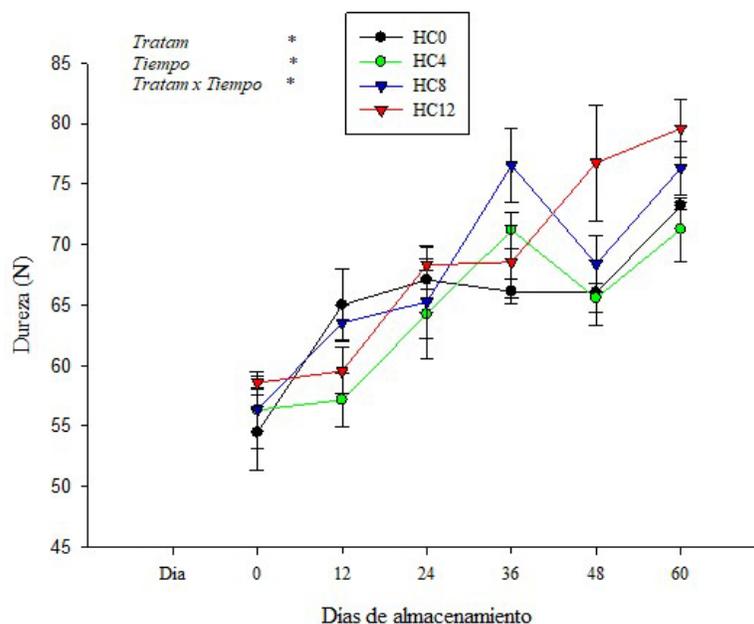


Figura 5. Valores de dureza (N) de las salchichas por efecto de la interacción porcentaje de hígado de cerdo añadido y días de almacenamiento. \* ( $p < 0.05$ ).

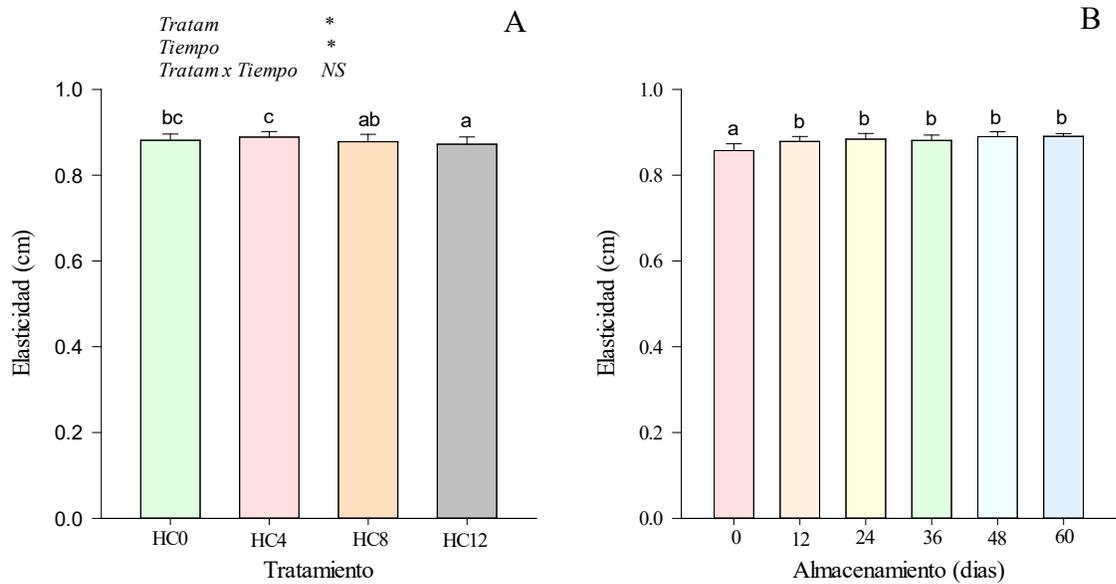


Figura 6. Valores de elasticidad (cm) de las salchichas por efecto del porcentaje de hígado de cerdo añadido (A) y días de almacenamiento (B). <sup>abcd</sup> Barras con diferente literal, indican diferencia ( $p < 0.05$ ).

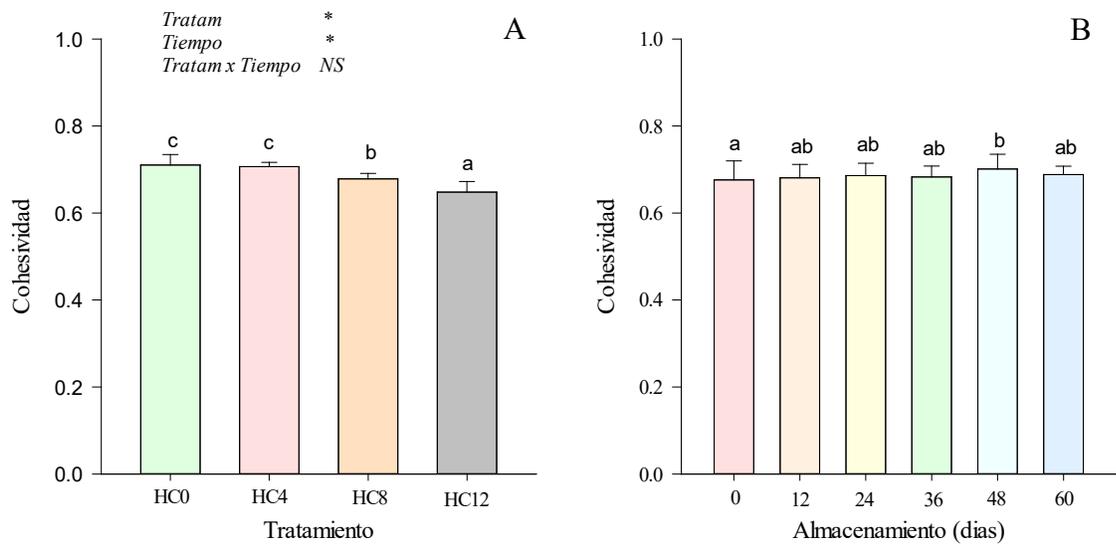


Figura 7. Valores de cohesividad de las salchichas por efecto del porcentaje de hígado de cerdo añadido (A) y días de almacenamiento (B). <sup>abcd</sup> Barras con diferente literal, indican diferencia ( $p < 0.05$ ).

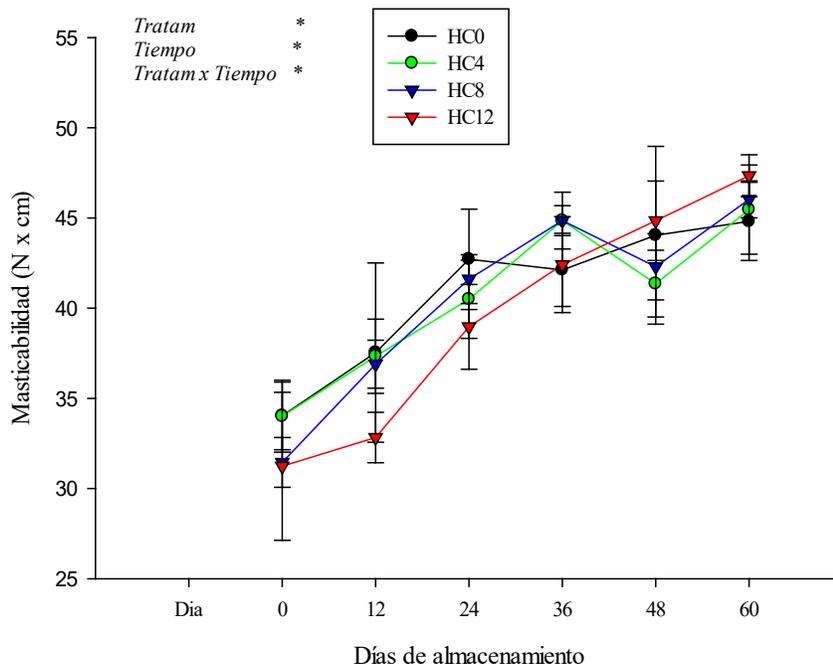


Figura 8. Comportamiento de la masticabilidad (N x cm) de las salchichas por efecto de la interacción porcentaje de hígado de cerdo añadido y días de almacenamiento. \* ( $p < 0.05$ ).

#### 6.7.4. Esfuerzo al corte

No hubo efecto de interacción ( $p > 0.05$ ) entre HC añadido y los días de almacenamiento respecto a la dureza (kg). Los valores se encontraron entre 1.17 kg y 1.62 kg. Se observó que entre más HC (Figura 9A) se agregue a la formulación la firmeza disminuyó ligeramente ( $p < 0.05$ ) y en cuanto a los días de almacenamiento (Figura 9B) se presentaron valores similares durante todos los días de almacenamiento ( $p < 0.05$ ). Esto puede ser ocasionado por la variación en la carga neta de las proteínas, ya que genera un cambio en las fuerzas atractivas y repulsivas, ocasionando una alteración en la habilidad de asociarse con moléculas de agua, ocasionando como se mencionó anteriormente, una salchicha más dura.

Resultados distintos presenta Solano (2012) en salchichas adicionadas con vísceras de cerdo. Encontró que el esfuerzo al corte era más alto en salchichas con mayor porcentaje de adición de vísceras de cerdo en su formulación, mientras que por otro lado, al igual que en esta investigación,

encontró que el esfuerzo al corte aumentó con los días de almacenamiento. León y Molina (2016) mencionan que la presencia de harina en las formulaciones es capaz de influir sobre las interacciones de agua-proteína dando como resultado productos suaves.

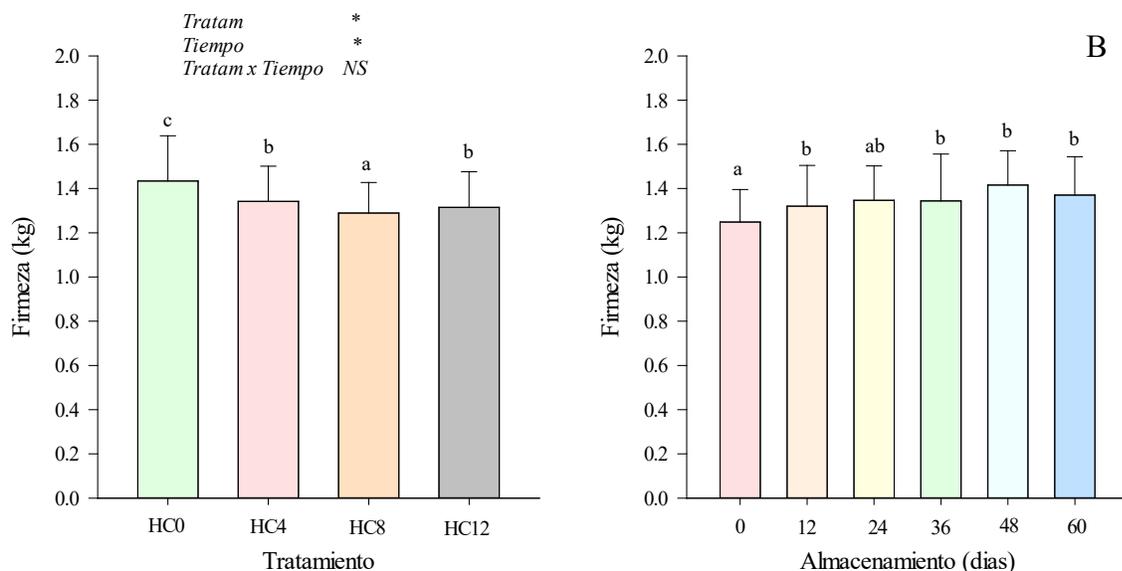


Figura 9. Efecto del porcentaje de hígado de cerdo añadido (A) y días de almacenamiento (B) respecto al valor de firmeza (kg) en salchichas. <sup>abcd</sup> Barras con diferente literal, indican diferencia ( $p < 0.05$ ).

### 6.8. Sustancias Reactivas al Ácido Tiobarbitúrico (TBARS)

La oxidación lipídica es una de los principales mecanismos de deterioro de los alimentos y especialmente de productos cárnicos. Por lo tanto, es importante realizar esta evaluación para conocer la vida útil del producto Isaza *et al.* (2013).

Existe efecto de interacción ( $p < 0.05$ ) entre el HC y los días de almacenamiento respecto a la oxidación lipídica TBA (mg MA/kg), lo cual significa que el valor de mg MA/kg dependió del día en el cual fue evaluada la salchicha. Los resultados se encontraron entre 0.07 y 0.89 mg MA/kg. Nassu *et al.* (2003) mencionan que, un valor de 0.7 mg MA/kg puede llegar a ser percibido por el

consumidor y que valores de 2.0 mg MA/kg o más se considera rancio e inaceptable por el consumidor. Abordando los resultados, se encontró que a medida que aumenta el HC en la formulación y entre más días de almacenamiento pasan (Figura 10), los valores de mg MA/kg aumentan ( $p < 0.05$ ). Esto puede deberse a que el hígado es rico en hierro y dicho mineral es considerado una sustancia prooxidante (Pazos, 2005), dicha oxidación coincide con el cambio en el pH a través del tiempo. En un estudio elaborado por Drăguți *et al.* (2019) en salchichas de hígado donde se evaluó la incorporación de rábano picante como antioxidante, se encontró que las salchichas control aumentaron sus valores de TBA de 5.03 a 50.24 durante 7 días de almacenamiento. También, Estévez *et al.* (2006) mencionan que la grasa y los altos niveles del hierro que le confiere el hígado a la salchicha, aumenta considerablemente su inestabilidad oxidativa. Explican que el desarrollo de la oxidación de lípidos y proteínas durante el almacenamiento en refrigeración provoca la degradación de la molécula hemo y la liberación de hierro, aumentando aún más la inestabilidad oxidativa del producto.

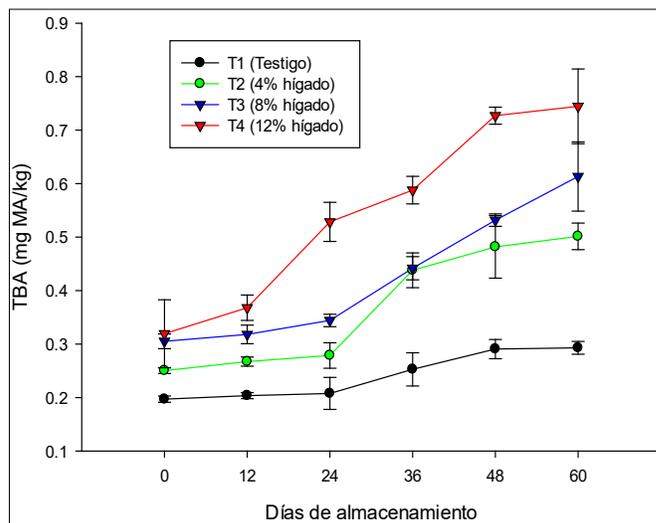


Figura 10. Valores de oxidación lipídica TBA (mg MA/kg) en salchichas por efecto de la interacción porcentaje de hígado de cerdo añadido y días de almacenamiento. Efecto significativo de la interacción ( $p < 0.05$ ).

## 6.9. Contenido de Retinol

La vitamina A preformada es la que está presente en el hígado de cerdo utilizado en la formulación de las salchichas de esta investigación. A diferencia de la provitamina A, que cuenta con una tasa de absorción de entre 20-50%, la vitamina A, posee una tasa de entre 70-90%, lo cual, la hace que sea bien absorbida y utilizada en el organismo (Cruz, 2007). El retinol, tiene un papel importante en la visión, hematopoyesis, metabolismo óseo y en la inmunidad del organismo. Su deficiencia severa puede llegar a ocasionar pérdida de apetito, crecimiento retardado, sequedad y queratinización de membranas oculares, infección, xeroftalmía, queratomalacia, constricción del nervio óptico, piel áspera y escamosa, pelo/plumas ásperas, debilidad, nefritis e incluso la muerte. Mientras que su exceso severo, puede generar dolores musculares y articulares, dolor de cabeza, eritema, descamación, alopecia, queilitis, estomatitis, conjuntivitis, adelgazamiento y fractura de huesos largos (Combs, 2008). En México, más de un cuarto de los niños con edad menor a 5 años presentan deficiencia de vitamina A y se ha llegado a considerar esta deficiencia, como una enfermedad subclínica (IMSS, 2014).

No hubo efecto de interacción ( $p > 0.05$ ) entre HC añadido y los días de almacenamiento respecto al contenido de retinol y tampoco hubo efecto ( $p > 0.05$ ) de los días de almacenamiento sobre el contenido de retinol, por lo tanto solo se presenta el efecto principal del porcentaje de HC añadido. La Figura 11 presenta el efecto ( $p < 0.05$ ) del HC añadido sobre el contenido de retinol. El contenido osciló entre 1.50  $\mu\text{g}/100\text{g}$  y 12504.91  $\mu\text{g}/100\text{g}$  y se observa que a medida que aumenta el HC en la formulación, el contenido de retinol aumentó ( $p < 0.05$ ). El contenido de retinol se atribuye totalmente al HC, ya que como se observa en el Cuadro 5, es rico en retinol y cuenta con un valor promedio de 87603.06  $\mu\text{g}/100\text{g}$ .

Por otro lado, al no haber efecto ( $p > 0.05$ ) de los días de almacenamiento respecto al contenido de retinol, significa que el retinol se mantiene durante el tiempo de almacenamiento en refrigeración, lo cual se consideraría como un beneficio, ya que no habría cambio en su contenido. El hecho de que se haya mantenido durante el almacenamiento, radica en que el retinol se encuentra unido a prealbúmina y esta a su vez a la proteína de unión al retinol, las cuales lo protegen (Wu *et al.*, 2017). En un estudio elaborado por PYRCZ *et al.* (2006), en salchichas donde se evaluó la incorporación de hígado de distinto origen (cerdo, pollo y conejo) en la formulación, sus valores

de retinol oscilaron entre 1.91 mg/100 g y 9.82 mg/100 g, siendo el valor más alto para la adición de hígado de cerdo. En otro estudio elaborado por Naumova *et al.* (2019) sobre paté de hígado donde se sustituyó el hígado de res en la formulación por semilla de comino negro molida (1,5; 3,0; 5,0% y por semillas de cedro molidas (5,0; 7,0; 10,0%), encontraron que los valores de retinol oscilaron entre 1.24 mg/kg a 1.71.mg/kg, siendo el valor más alto para el paté control (sin sustitución de hígado).

Es importante mencionar que los valores de vitamina A encontrados en las salchichas de esta investigación, rebasan los límites diarios recomendados (Cuadro 10, en anexos) para niños y adolescentes, por lo cual pudieran presentar signos o síntomas de exceso; Sin embargo, solo se han reportado evidencias de toxicidad en hígado de foca y oso polar (Rodahl y Moore, 1943).

En consecuencia, adicionar HC a la formulación aporta una considerable cantidad de retinol a las salchichas, aunado a que se mantiene durante el almacenamiento en refrigeración, sería un excelente vehículo para el aporte de retinol en la dieta, el cual es un nutriente indispensable para el adecuado desarrollo de los niños. Al igual que como se mencionó al evaluar los minerales, elaborar salchichas adicionadas con HC resulta en salchichas que aportan considerable cantidad de retinol. Es necesario seguir con estudios y evaluar bioaccesibilidad y biodisponibilidad de este micronutriente abordado el presente estudio, conocer los efectos en el organismo y con esto poder aplicar a poblaciones infantiles con el fin de cubrir un porcentaje de la cantidad diaria recomendada de retinol.

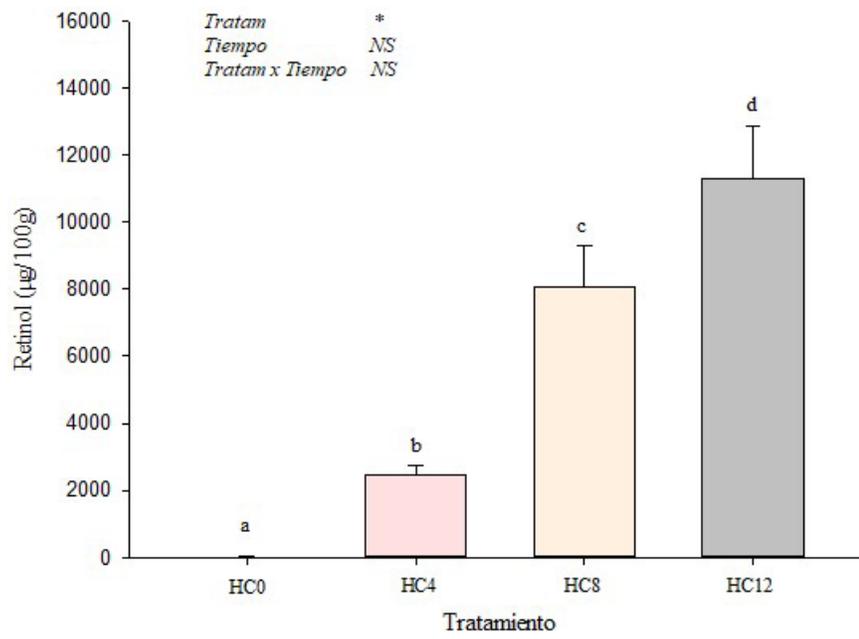


Figura 11. Efecto del porcentaje de hígado de cerdo añadido respecto al contenido de retinol en salchichas. <sup>abcd</sup> Barras con diferente literal, indican diferencia ( $p < 0.05$ ).

## 7. CONCLUSIONES

En virtud de los resultados obtenidos, la materia prima presentó buena calidad fisicoquímica y nutricional para utilizarse en el desarrollo de nuevos productos; además, su caracterización parcial sirvió para explicar el comportamiento de los tratamientos en los que fue incorporado.

Por otro lado, todos los tratamientos evaluados en los que fue incorporado hígado porcino tuvieron perfil nutricional que los torna saludable en comparación con las salchichas convencionales comerciales, contando con menor contenido de grasa, sodio, kcal y mayor contenido de proteína. Las salchichas desarrolladas en el presente estudio fueron estables durante el tiempo de almacenamiento por 60 días a 2 °C, respecto a su calidad fisicoquímica y nutricional; sin embargo, el producto con la mayor incorporación de HC presentó una oxidación mayor respecto al resto de los tratamientos. Destaca en los productos adicionados con HC los contenidos de retinol, hierro, zinc y selenio, además de que el retinol fue estable durante el tiempo de almacenamiento.

La información generada en esta investigación destaca las propiedades fisicoquímicas y nutricionales del producto. El producto cárnico diseñado presenta un perfil nutricional atractivo y podría ser una opción tanto para la población infantil que presenta deficiencias de dichos nutrientes como para población infantil sana.

Este trabajo es una de las primeras etapas de gran importancia en el desarrollo de un alimento funcional. La información generada en este estudio puede ser de interés para productores que quieran desarrollar salchichas de cerdo con una connotación saludable.

## 8. RECOMENDACIONES

Se sugiere en futuras investigaciones, realizar análisis sensorial, sustituir un porcentaje de cloruro de sodio por sales de potasio o mezclas de sales con el fin de reducir la cantidad de sodio, así como también evaluar la bioaccesibilidad y la biodisponibilidad del hierro, zinc, selenio y retinol tanto *in vivo* como *in vitro*.

## 9. REFERENCIAS

- AEP y SEGHN (2017). Aceite de palma y ácido palmítico en la alimentación infantil. *Palmas*, 38(3), 26-29.
- Aguilera, C. M., Tortosa, R., Mesa, M. D., y Gil, Á. 2001. Efectos protectores de los ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados sobre el desarrollo de la enfermedad cardiovascular. *Nutrición hospitalaria*, 78-91.
- AOAC 968.08. 2000. Minerals in animal feed and pet food, atomic absorption spectrophotometric method. Gaithersburg.
- AOAC. 2002. Association of official analytical chemists. Paper presented at the Official Methods of Analysis. , Arlington, Virginia, EUA.
- Amo, J. 2018. El mercado de la carne de cerdo en canal en México. *Análisis Económico*. 22: 273-287.
- Avieli, N. 2015. Las guerras del hummus: Comida local, récord Guinness y gastropolítica palestino-Israelí. *Estudios de Asia y Africa*. 50: 569-591.
- Basulto, J., Comas, M. T., Manera, M., y Baladia, E. 2009. Ácido esteárico y salud cardiovascular. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 13(4), 161–172.
- Berizi, E., Shekarforoush, S. S., Mohammadinezhad, S., Hosseinzadeh, S., y Farahnaki, A. 2017. The use of inulin as fat replacer and its effect on texture and sensory properties of emulsion type sausages. *Iranian journal of veterinary research*. 18(4): 253–257.
- Bligh, E. G., y Dyer, W. J. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*. 37(8): 911-917.
- Bourne, M. 2002. Food texture and viscosity: concept and measurement: *Elsevier*.
- Çağlar, M. y DEMİRCİ, M. 2018. TIM Systems: A Novel Approach for Determination of Bioaccessibility and Bioavailability of Food Components. *European Journal of Science and Technology*: 176-184.
- Camou A., J. P., Gonzalez. R., H. y Valenzuela M., M. 2014. Alimentos Funcionales Cárnicos, en Los Alimentos Funcionales: Un nuevo reto para la industria de alimentos. *ResearchGate*. 52: 1-3.
- Carbajal Azcona, A., Sanchez-muniz, F. J., Barroeta, A., Cortinas, L., Jimenez Colmenero, F., Olmedilla-Alonso, B., y Rodríguez Pérez, R. 2004. La carne y productos cárnicos como alimentos funcionales. Editeca. Madrid, España. 140.
- Comecarne 2017. Compendio Estadístico. Recuperado de *Comecarne.Org*.
- Cai, Z., Zhang, J. y Li, H. (2019). Selenio, envejecimiento y enfermedades relacionadas con el envejecimiento. *Clin Exp Res*.31:1035-1047.
- Castellanos, B., Varón, B. L., González, G. E. Biodisponibilidad de Hierro. (2017). *Research gate*: 30.

- Cerami, C. (2017). Iron Nutriture of the Fetus, Neonate, Infant y Child. *Annals of Nutrition and Metabolism*. 71: 8-14.
- Cilla, A., Barberá, R., López-García, G., Blanco-Morales, V., Alegría, A. y Garcia-Llatas, G. 2019. Impact of processing on mineral bioaccessibility/bioavailability. *Innovative Thermal and Non-Thermal Processing, Bioaccessibility and Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds*: 209-239.
- Choe, J.H., Kim, H.Y., Lee, J.M., Kim, Y.J. y Kim, C.J. 2013. Calidad de las salchichas tipo salchicha con adición de piel de cerdo y mezcla de fibra de trigo como sustitutos de grasa. *Meat Science*: 93 (4), 849–854.
- Combs, G. 2008. The Vitamins Fundamental Aspects in Nutrition and Health. Elsevier. Tercera edición. 97-140 pp.
- Cruz, R. 2017. Vitamina A, carotenoides pro y no provitamina A. *Revista especializada de Nutricion (ReNut)*, 1(2).
- Dalmás, P. S., Bezerra, T. K. A., Morgano, M. A., Milani, R. F., y Madruga, M. S. (2011). Development of goat pâté prepared with “variety meat.” *Small Ruminant Research*, 98(1-3), 46–50.
- Dávila, A. 2020. Datos sobre la vitamina A. *National Institutes of Health*: 1-4.
- De la Cruz-Góngora, V., Martínez-Tapia, B., Cuevas-Nasu, L., Rangel-Baltazar, E., Medina-Zacarias, M. C., García-Guerra, A. y Shamah-Levy, T. 2019. Anemia, deficiencias de zinc y hierro, consumo de suplementos y morbilidad en niños mexicanos de 1 a 4 años: resultados de la Ensanut 100k. *Salud Pública de México*: 61, 821.
- Delgado-Pando, G., Cofrades, S., Rodríguez-Salas, L., y Jiménez-Colmenero, F. 2011. A healthier oil combination and konjac gel as functional ingredients in low-fat pork liver pâté. *Meat Science*. 88: 241-248.
- Dias, D. M., Costa, N. M. B., Nutti, M. R., Tako, E., y Martino, H. S. D. 2018. Advantages and limitations of in vitro and in vivo methods of iron and zinc bioavailability evaluation in the assessment of biofortification program effectiveness. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 58: 2136-2146.
- Díaz, G. (2016). Cloruro de sodio: ingesta diaria e implicaciones para la salud. *Revista Hispanoamericana de Ciencias de la Salud*, 2(4), 330-331.
- Drăguți, A. C., Negrea, M. V., y Cocan, I. (2019). Study on the use of horseradish as a natural source of antioxidants in the technology of obtaining liver sausage. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 25(4), 233-236.
- Elbaz, F., Zahra, S. y Hanafy, H. 2017. Estimación de magnesio, zinc y cobre en niños con trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH). *Revista egipcia de genética médica humana*, 18 (2), 153-163.
- Ellwanger, J. H., Franke, S. Ir., Bordin, D. L., Prá, D. y Henriques, J. Ap. 2016. Funciones biológicas del selenio y su influencia potencial en la enfermedad de Parkinson. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 88: 1655-1674.
- Engle-Stone, R., Ndjebayi, A. O., Nankap, M., D. Killilea W., y K. Brown, H. 2014. Stunting

- Prevalence, Plasma Zinc Concentrations, and Dietary Zinc Intakes in a Nationally Representative Sample Suggest a High Risk of Zinc Deficiency among Women and Young Children in Cameroon 1–3. *The Journal of Nutrition Community and International Nutrition*. 144: 382–391.
- Estévez, M., Ventanas, S. y Cava, R. 2006. Efecto de antioxidantes naturales y sintéticos sobre la oxidación de proteínas y cambios de color y textura en paté de hígado porcino almacenado refrigerado. *Meat Science*, 74 (2), 396–403.
- FAO. (2014). Podar. *Fichas técnicas Procesados de carnes*. 20.
- Feiner, G. (2006). Meat products handbook: Practical science and technology. *Elsevier*.
- Ferrer-García, J. C., Granell V. L., Muñoz I. A., y Sánchez J. C. 2015. Consumo de frutos secos y aceites vegetales en personas con diabetes mellitus tipo 1. *Nutrición Hospitalaria*, 31(6), 2641-2647.
- Gamboa, C. 2014. Clasificación de las vitaminas. Guías alimentarias para la educación nutricional en Costa Rica. Gobierno de Costa Rica: 20.
- Gaitán, D., Chamorro, R., Cediel, G., Lozano, G., y Gomes, F. D. S. 2015. Sodio y enfermedad cardiovascular: contexto en Latinoamérica. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 65(4), 206-215.
- Gashu, D., Stoecker, B.J., Bougma, K., Adish, A., Haki, GD y Marquis, G.S. 2015. El retraso del crecimiento, la deficiencia de selenio y la anemia se asocian con un rendimiento cognitivo deficiente en los niños en edad preescolar de las zonas rurales de Etiopía. *Revista de nutrición*. 15 (1).
- Gharibzahedi, S. M. T., y Jafari, S. M. 2017. The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science and Technology*. 62: 119-132.
- González, C. M. C., Lastre-Amell, G., Oróstegui-Santander, M. A., Suarez-Villa, M., y Escorcía, L. L. R. (2020). Serum zinc in school children. *Revista Cubana de Pediatría*. 92: 1-16.
- González, H., y Visentin, S. B. 2016. Nutrientes y neurodesarrollo: lípidos: actualización. *Archivos argentinos de pediatría*. 114.
- González-Méndez, N.F., Gros, J.B., Poma, J.P. y Ramos, E. (1985). Influencia de la Congelación sobre la difusión del cloruro sódico en el músculo Longissimus dorsi del puerco. *Rev. Agroquim. Tecnol. Alim ent.*, 25(2):279.
- Hess, D., Keller, H., Oberlin, B., Bonfanti, R., y Schüep, W. (1991). Simultaneous determination of retinol, tocopherols, carotenes and lycopene in plasma by means of high-performance liquid chromatography on reversed phase. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, 61(3), 232.
- Herrera, T. S., Delgado, A., Ramirez, P., Licea, E. M., Moreno, M. G., y Machuca, C. P. 2014. Estudio de la composición proximal de variedades de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) Costa 2004 y Blanoro. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria, México*: 9-15.
- IMSS.(2014). Diagnóstico y Tratamiento de la Deficiencia de Vitamina A En Niños. Ciudad de México. Recuperado de <http://www.imss.gob.mx/>

- Irshad A. S. B. D. (2015). Abattoir by-Product Utilization for Sustainable Meat Industry: A Review. *Journal of Animal Production Advances*: 5, 681.
- Isaza, M. Y. L., I., Restrepo, M. D. A. y Lopez, V. J. H. (2013). Oxidación lipídica y antioxidantes naturales en derivados cárnicos. *Journal of Engineering and Technology*, 2(2).
- Jimenez, F., and Carballo, J. 1989. Principios básicos de elaboración de embutidos. *Ministerio de agricultura, pesca y alimentación*: 20.
- Jiménez-Colmenero, F. 2007. Healthier lipid formulation approaches in meat-based functional foods. Technological options for replacement of meat fats by non-meat fats. *Trends in Food Science and Technology*. 18: 567–578.
- León E., F. y Molina C., J. (2016). Desarrollo y evaluación de una salchicha emulsificada tipo Frankfurter alta en hierro, utilizando coproductos de las plantas agroindustriales de Zamorano (tesis de grado) Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras.
- Leite, A., Rodrigues, S., Pereira, E., Paulos, K., Oliveira, AF, Lorenzo, JM y Teixeira, A. (2015). Physicochemical properties, fatty acid profile and sensory characteristics of sheep and goat meat sausages manufactured with different porkfat levels. *Meat Science*: 105.
- Li, L., Liu, Y., Zou, X., He, J., Xu, X., Zhou, G. y Li, C. 2017. In vitro protein digestibility of pork products is affected by the method of processing. *Food Research International*. 92: 88-94.
- Liu, Y., Peterson, K. E., Sánchez, B. N., Jones, A. D., Cantoral, A., Mercado-García, A. y Téllez-Rojo, M. M. (2019). Dietary intake of selenium in relation to pubertal development in Mexican children. *Nutrients*. 11: 1-10.
- López-Bellido Garrido, F. J., y López Bellido, L. 2013. Selenio y salud: valores de referencia y situación actual de la población española. *Nutrición Hospitalaria*. 28(5), 1396-1406.
- López de Romaña, D., Castillo, D. C., y Diazgranados, D. 2010. El zinc en la salud humana - II. *Revista chilena de nutrición*. 37(2), 240-247
- MAGRAMA. (2016). Salchichas Frankfurt. Carnes y productos cárnicos. Recuperado de <http://www.magrama.gob.es>
- Mallor G. C. (2020). ¿Producimos y consumimos suficientes legumbres en España?. Red de intercambio de conocimiento agroalimentario. Agarón, España. Recuperado de [https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/5023/1/2020\\_126.pdf](https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/5023/1/2020_126.pdf)
- Martínez-Villegas, O. y Baptista-González, H. A. 2019. Anemia por deficiencia de hierro en niños: un problema de salud nacional. *Rev Hematol Mex*. 20: 96-105.
- Martirosyan, D. y Miller, E. 2018. Bioactive Compounds: The Key to Functional Foods. *Bioactive Compounds in Health and Disease*: 1, 36.
- Monge-Rojas, R., y Campos, H. (2006). Tabla de composición de alimentos de Costa Rica. Inciensa, Costa Rica. Primera edición. 95.
- Mora-Gallego, H., Serra, X., Guàrdia, M. D., y Arnau, J. (2014). Effect of reducing and replacing pork fat on the physicochemical, instrumental and sensory characteristics throughout storage time of small caliber non-acid fermented sausages with reduced sodium content. *Meat Science*, 97(1), 62–68.

- Murrieta, O. F. P., Leyva, F., Adolfo, G., Valenzuela, P., Herrera, V. y Gerardo, F. 2016. Blanoro , nueva variedad de garbanzo blanco de grano extra grande para exportación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7: 209-216.
- Nassu, R.T.; Goncalves, L.A.G.; da Silva, M. y Beserra, F.J. 2003. Oxidative stability of fermented goat meat sausage with different levels of natural antioxidant. *Meat Science*. 63, 43–49.
- Naumova, N., Aleksandr, L, Buchel, A. 2020. Effect of Non-Traditional Raw Material on Quality and Nutritional Value of Liver Pâté. *Agricultural Food Engineering*. 12(61). 85-96
- NIH. (2016). Datos Sobre El Selenio. *NIH Office of Dietary Supplements*: 1-3.
- NIH. (2019). Datos Sobre El Hierro. *NIH Office of Dietary Supplements*: 1-3.
- NIH. (2019). Datos Sobre El Zinc. *NIH Office of Dietary Supplements*: 1-3.
- NIH. (2020). Datos Sobre La Vitamina A. *NIH Office of Dietary Supplements*: 1-3.
- Ngigi, P. B., Du Laing, G., Masinde, P. W. y Lachat, C. 2019. Selenium deficiency risk in central Kenya highlands: an assessment from the soil to the body. *Environmental Geochemistry and Health*. 1.
- NOM-092-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.
- Nuckles, R. O., Smith, D. M., y Merkel, R. A. 1990. Meat by-product protein composition and functional properties in model systems. *Journal of Food Science*, 55(3), 640-643.
- Olmedilla-Alonso, B. y Jiménez-Colmenero, F. 2014. Alimentos cárnicos funcionales; desarrollo y evaluación de sus propiedades saludables. *Nutricion Hospitalaria*. 29: 1197-1209.
- OMS. (2017). Guías para la fortificación de alimentos con micronutrientes.
- OMS. 19 de septiembre 2019. Según un informe de las Naciones Unidas, las cifras de supervivencia materno infantil son más elevadas que nunca. Organización Mundial de la Salud. Nueva York. Recuperado de <https://www.who.int/es/news/item/19-09-2019-more-women-and-children-survive-today-than-ever-before-un-report>
- Orellana, P., Valenzuela, R., Valenzuela, A., y Morales I., G. 2018. Efectos neuroprotectores del ácido araquidónico y del ácido docosahexaenoico en las etapas extremas de la vida: Una visión integradora. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(1), 80–88.
- Ospina-E. J.C., Rojano, B., Ochoa, O., Pérez-Álvarez, J.A. y Fernández-López, J. 2014. Elaboración de embutidos tipo salchicha con formulación lipídica saludable y sus propiedades nutricionales, sensoriales y de estabilidad. *Revista europea de ciencia y tecnología de los lípidos*. 117 (1): 122-131.
- Park, P., y Goins, R. 1994. In situ preparation of fatty acid methyl esters for analysis of fatty acid composition in foods. *Journal of food science*. 59(6): 1262-1266.
- Pazos. P. M. (2005). Inhibición de la oxidación lipídica en el músculo de pescado mediante la utilización de polifenoles obtenidos a partir del bagazo de uva (tesis de grado). Universidad de Santiago de Compostela. España.
- Pogorzelska-Nowicka, E., Atanasov, A. G., Horbańczuk, J. y Wierzbicka, A. 2018. Bioactive compounds in functional meat products. *Molecules*. 23: 1-19.
- Ponce-Fernández, N. E., Pollorena-López, G., Rosas-Domínguez, C., López-Peñuelas, V. M. y

- Osuna-Izaguirre, S. C. 2019. Composición química, características funcionales y capacidad antioxidante de formulaciones de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) blanco Sinaloa 92. *Agrociencia*. 53 :35-44.
- Ponce-Fernández, N. E., Polloreña-López, G., Rosas-Domínguez, C., López-Peñuelas, V. M. y Osuna-Izaguirre, S. C. 2020. Adición de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) y tomate *Solanum lycopersicum*) deshidratado en la capacidad antioxidante y anaquel e salchicha tipo frankfurt. *Agrociencia*. 54(3): 337–351
- Pyrcz j. , pietrończyk k. , kowalski r. , danyluk b. 2006. The effect of species origin of liver on quality of liver pate type sausage *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Food Science and Technology*. 9(2).
- Rodahl, K., y Moore, T. 1943. The vitamin A content and toxicity of bear and seal liver. *Biochemical journal*. 37(2), 166-168.
- Ruiz, V. G., Rodríguez A.J., R., Torres, R. E., Martínez, G. M., González, M. E. y Pérez, F.R. 2016. Enfermedades cardiovasculares, hipertensión arterial y consumo de sodio: una relación controversial/Cardiovascular diseases, high blood pressure and sodium intake: a controversial relationship. *RICS Revista Iberoamericana de las Ciencias de la Salud*, 5(10), 30-50.
- Saini, R. K., Nile, S. H. y Park, S. W. 2015. Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. *Food Research International*. 76: 735-750.
- Santeramo, F. G., Carlucci, D., De Devitiis, B., Seccia, A., Stasi, A., Viscecchia, R. y Nardone, G. 2018. Emerging trends in European food, diets and food industry. *Food Research International*. 104: 39-47.
- Seong, P. N., Kang, G. H., Park, K. M., Cho, S. H., Kang, S. M., Park, B. Y. y Van Ba, H. 2014. Characterization of hanwoo bovine by-products by means of yield, physicochemical and nutritional compositions. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. 34: 434-447.
- Sermini, C. G., Acevedo, M. J. y Arredondo, M. 2017. Biomarkers of metabolism and iron nutrition. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*. 34: 690-698.
- Sida-Arreola, J.P., Sánchez, E., Ávila-Quezada, G.D., Acosta-Muñoz, C.H. y Zamudio-Flores, P.B. 2020. Micronutrient biofortification in agricultural crops and their impact on human nutrition and health. *Tecnociencia Chihuahua*. 9, 2 (jul. 2020), 67-74.
- Schmid, A., Collomb, M., Sieber, R., y Bee, G. 2006. Conjugated linoleic acid in meat and meat products: A review. *Meat Science*, 73(1), 29-41.
- Solano M. R. A. 2012 Evaluación físico-químico, microbiológica sensorial de una salchicha a base de pollo con vísceras de cerdo y harina de naranja (*Citrus sinseis*) y maracuyá (*Passiflora edulis*) (Tesis de grado) Zamorano, Honduras.
- Srebernick, S. M., Gonçalves, G. M. S., and Domene, S. M. Á. 2017. Fortifying pork liver mixture: Evaluation of protein quality and iron bioavailability - Part 2. *Revista de Nutricao*. 30: 817-826.
- Srebernick, S. M., Gonçalves, G. M. S. y Domene, S. M. Á. 2018. Fortifying pork liver mixture:

Preparation and physicochemical characteristics - Part 1. *Food Science and Technology*. 38: 647-652.

Taboada, L. N. 2017. El zinc y el cobre: micronutrientes esenciales para la salud humana. *Acta Médica del Centro*. 11: 79-89.

Tarté, R. 2018. Implicaciones del Uso de Aditivos Convencionales y Alternativos en la Producción Cárnica Aditivos Alternativos • Aditivos utilizados como alternativas a aditivos. *Iowa State University*.

USDA. (2016). USDA national nutrient database for standard reference. Food data central. Recuperado de <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/167862/nutrients>

USDA. (2019). USDA national nutrient database for standard reference. Food data central. Recuperado de <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/167811/nutrients>

USDA. (2021). USDA national nutrient database for standard reference. Food data central. Recuperado de <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/1941084/nutrients> UNICEF. (2015). Micronutrientes. Recuperado de <https://www.unicef.org>

Vargas-Blandino, D., Cardenas-Travieso, R. M., y San José de las Lajas, M. 2021. Chickpea cultivation, a possible solution to climate change. *Cultivos Tropicales*. 42(1).

Wallace, T. C., Murray, R. y Zelman, K. M. 2016. The nutritional value and health benefits of chickpeas and hummus. *Nutrients*. 8: 1-10.

Wu, Y., Cheng, H., Chen, Y., Chen, L., Fang, Z. y Liang, L. 2017. Formación de un complejo multiligando de albúmina de suero bovino con retinol, resveratrol y (-) - epigallocatequina-3-galato para la protección de componentes bioactivos. *Revista de química agrícola y alimentaria*. 65 (14), 3019-3030.

Zeldman, J., Mialki, K., Sweeney, L., y Shelnutt, K. 2020. O27 Family Mealtime Behaviors Among Low-Income African Americans Participating in a Healthy Meal Kit Intervention. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 52(7), S13.

## 10. ANEXOS

Cuadro 10. Cantidad diaria recomendada y límite máximo recomendado para hierro, zinc Selenio y vitamina A

Edad (años)	Hierro		Zinc		Selenio		Vitamina A	
	CDR (mg)	LMR (mg)	CDR (mg)	LMR (mg)	CDR (µg)	LMR (µg)	CDR (µg)	LMR (µg)
1 a 3	7	40	5	7	20	90	300	600
4 a 8	10	40	8	12	30	150	400	700
9 a 13	8	40	11	23	40	280	600	1700

Fuente: NIH, 2016; NIH, 2019; NIH, 2020. CDR, cantidad diaria recomendada, LMR, límite máximo recomendado