

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



**Espectroscopía dieléctrica como herramienta de predicción de la
calidad en el seguimiento post mortem de la carne de cerdo.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL**

AUTORES:

PERALTA VÁZQUEZ, Magaly Del Rocio

MEDINA AGUILAR, Sideli

ASESOR:

M. Sc. Tony Steven Chuquizuta Trigoso

COASESOR:

Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano

Dos firmas manuscritas en tinta negra. La firma superior es de Tony Steven Chuquizuta Trigoso y la inferior es de Hubert Luzdemio Arteaga Miñano.

Chota – 2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 006-2022/EPIA - FCA/UNACH

Siendo las 9:25 horas, del día 24 de noviembre del 2022, en la sala de docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial en el Campos Universitario de Colpa Huacaris, los miembros del Jurado de Tesis titulada: Espectroscopía dieléctrica como herramienta de predicción de la calidad en el seguimiento post mortem de la carne de cerdo, integrado por:

1. Mg. Martin Díaz Torres. : Presidente
2. Mg. Gina De La Cruz Alarcón. : Secretario
3. Mg. Edson Elvis Ramirez Tixe. : Vocal

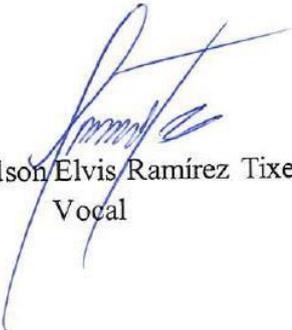
Sustentada de manera presencial por la Bach. Magaly Del Rocio Peralta Vásquez y la Bach. Sideli Medina Aguilar, con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por los graduandos, luego de deliberar, acuerda Aprobar, la tesis, calificándola con la nota de: 15 (QUINCE), se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el Título Profesional.

Firmado en: Chota, 24 de noviembre del 2022.


Mg. Martin Díaz Torres
Presidente


Mg. Gina De La Cruz Calderón
Secretario


MBA. Edson Elvis Ramirez Tixe
Vocal

DEDICATORIA

A mis padres Virgilio y Natalia por su amor y su apoyo incondicional, que gracias a ellos pude avanzar un paso más en mi vida profesional, y a mis hermanos Yovana, Wilmer, José, Rosana y Milagros quienes siempre estuvieron allí brindándome su apoyo e incentivando a nunca decaer y poder cumplir así mi más anhelada meta.

Magaly del Rocio

A mi padre Alberto y a mi madre Aldonia por su amor, sus consejos y su apoyo absoluto durante todo este tiempo para salir adelante y cumplir cada uno de mis metas; a mis hermanos Jhon y Dylan por estar siempre conmigo y ser parte de este gran proceso.

Sideli

AGRADECIMIENTO

Agradezco,

A nuestro Dios padre, creador de todas las cosas y forjador de nuestro camino, quien nos ha brindado vida y salud.

A cada uno de nuestros padres por su apoyo absoluto, por sus sabias palabras y consejos que nos ayudaron a crecer como personas de bien.

A nuestro asesor M. Sc. Tony Steven Chuquizuta Trigoso, por darnos la oportunidad de realizar esta tesis, por la confianza y apoyo en todo momento que con su amplia experiencia nos orientó en la redacción y desarrollo de esta investigación.

A nuestro coasesor Dr. Hubert Luzdemio Arteaga Miñano, por el refuerzo brindada en la estructuración y desarrollo de esta investigación, además por sus comentarios, consejos y sugerencias que fueron de suma importancia.

Al técnico de laboratorio del Instituto de Investigación del Mejoramiento Productivo Ing. Mirian Yuliza Rubio Cieza, por su apoyo en el manejo de equipos, por sus consejos y sugerencias.

A la Universidad Nacional Autónoma de Chota, por acogerme y ser pieza fundamental de mi formación profesional.

A nuestras familias por ser el soporte primordial para lograr este anhelado sueño.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	12
ABSTRACT	13
CAPÍTULO I.....	14
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO II	16
MARCO TEÓRICO	16
2.1. Antecedentes.....	16
2.2. Bases teóricas- científicas	21
2.2.1. Carne	21
2.2.2. Composición química de la carne	21
2.2.3. Transformación de músculo a carne	22
2.2.4. Clasificación de la calidad de la carne	24
2.2.4. Calidad de la carne	25
2.2.5. Factores que afectan la calidad de la carne	26
2.2.6. Parámetros que determinan la calidad de la carne de cerdo	29
2.2.7. Técnicas de evaluación de la calidad de carne	31
2.2.8. Principios electromagnéticos de la espectroscopía dieléctrica.....	33
2.2.9. Propiedades dieléctricas.	36
2.2.10. Mecanismos dieléctricos en sistemas celulares.....	36
2.2.11. Factores que afectan a las propiedades dieléctricas en carnes	38
2.2.12. Técnicas de obtención de propiedades dieléctricas.....	39

2.3. Aplicación de la espectroscopia dieléctrica en carnes	42
2.4. Definición de conceptos	44
2.4.1 <i>Átomo</i>	44
2.4.2 <i>Calidad</i>	44
2.4.3 <i>Coefficiente de determinación</i>	44
2.4.4 <i>Conductividad</i>	44
2.4.5 <i>Dipolos</i>	44
2.4.6 <i>Espectroscopía dieléctrica</i>	44
2.4.7 <i>Glucólisis</i>	44
2.4.8 <i>Ion</i>	44
2.4.9 <i>Modelización</i>	45
2.4.10 <i>Músculo</i>	45
CAPÍTULO III.....	46
MARCO METODOLÓGICO	46
3.1. Ubicación	46
3.2. Población y muestra.....	46
3.3. Equipos, materiales y/o insumos.....	47
3.4. Metodología de la investigación.....	48
3.4.1. <i>Caracterización fisicoquímica</i>	50
3.4.2. <i>Obtención de las propiedades dieléctricas</i>	51
3.4.3. <i>Clasificación de la calidad de la carne de cerdo</i>	52
3.4.4. <i>Análisis estadístico</i>	52
CAPÍTULO IV	56

RESULTADOS Y DISCUSIONES	56
4.1. Características fisicoquímicas de la transformación de músculo a carne	56
4.2. Clasificación de la carne de cerdo según sus parámetros fisicoquímicos.	65
4.3. Espectros dieléctricos durante la transformación de músculo a carne.....	65
4.4. Predicción de los parámetros de calidad mediante espectroscopia dieléctrica.	72
<i>4.4.1. Frecuencias relevantes para la optimización del modelo de predicción</i>	<i>72</i>
<i>4.4.2. Predicción de parámetros fisicoquímicos durante la transformación de músculo a carne.....</i>	<i>76</i>
CAPÍTULO V.....	81
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	81
5.1. CONCLUSIONES.....	81
5.2. RECOMENDACIONES.....	82
CAPÍTULO VI.....	83
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
CAPÍTULO VII	97
ANEXOS.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición química de la carne de cerdo en base a 100 g.....	22
Tabla 2 Aspectos que conforman la calidad de la carne.....	26
Tabla 3 Técnicas de medición de las propiedades dieléctricas.	40
Tabla 4 Resumen de los estudios realizados con la técnica espectroscopia dieléctrica.....	43
Tabla 5 Equipos, materiales e insumos.....	48
Tabla 6 Clasificación de carne basada en pH, color (L^*) y pérdida por goteo (DL).....	52
Tabla 7 Propiedades fisicoquímicas de las muestras RFN y DFD durante la transformación de músculo	57
Tabla 8 Propiedades fisicoquímicas de las muestras RFN y DFD durante la transformación de músculo	58
Tabla 9 Clasificación del tipo carne a las 27 hpm para cerdos machos y hembras, según pH y color (L^*).	65

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Onda electromagnética.</i>	33
<i>Figura 2 Regiones del espectro electromagnético.</i>	34
<i>Figura 3 Dipolos alineados con el campo eléctrico</i>	35
<i>Figura 4 Esquematación de las dispersiones según la frecuencia y variación de constante dieléctrica</i>	37
<i>Figura 5 Sistema ensamblado del Analizador de redes vectoriales.</i>	41
<i>Figura 6 Toma de data con la sonda coaxial según el tipo de muestra.</i>	42
<i>Figura 7 Ubicación del Músculo Longissimus dorsi en la carcasa de cerdo.</i>	46
<i>Figura 8 Diagrama experimental de investigación.</i>	49
<i>Figura 9 Construcción de las matrices X y Y.</i>	53
<i>Figura 10 Evolución del pH de las muestras RFN y DFD) durante la transformación de músculo a carne</i>	60
<i>Figura 11 Evolución de la coordenada L* de las muestras RFN y DFD, durante la transformación de músculo a carne.</i>	62
<i>Figura 12 Evolución de la coordenada a* de las muestras RFN y DFD, durante la transformación de músculo a carne.</i>	63
<i>Figura 13 Evolución de la coordenada b* de las muestras RFN y DFD, durante la transformación de músculo a carne.</i>	63
<i>Figura 14 Evolución de la constante dieléctrica de muestras RFN, durante las 10 horas post mortem.</i>	67
<i>Figura 15 Evolución de la constante dieléctrica de muestras DFD, durante las 10 horas post mortem</i>	67

Figura 16 Constante dieléctrica de las muestras RFN y DFD, durante las 27 horas post mortem	68
Figura 17 Evolución del factor de pérdida de las muestras RFN, durante las 10 horas post mortem	70
Figura 18 Evolución del factor de pérdidas en las muestras DFD, durante las 10 horas post mortem	70
Figura 19 Factor de pérdida de las muestras RFN y DFD, durante las 27 horas post mortem	71
Figura 20 Coeficiente β del pH de las muestras RFN	73
Figura 21 Coeficiente β del pH de las carnes DFD	73
Figura 22 Coeficiente β del color L^* de las muestras RFN.....	75
Figura 23 Coeficiente β del color L^* de las muestras DFD.....	75
Figura 24 Resultado de la predicción del modelo PLSR para el pH de las muestras RFN ...	77
Figura 25 Resultado de la predicción del modelo PLSR para el pH de las muestras DFD...	77
Figura 26 Resultado de la predicción del modelo PLSR para el color (L^*) de la carne RFN	79
Figura 27 Resultado de la predicción del modelo PLSR para el color (L^*) de la carne DFD	79
Figura 28 Medición del pH.....	97
Figura 29 Medición de color.....	97
Figura 30 Medición de la humedad	98
Figura 31 Medición de la pérdida por goteo (Drip Loss).....	99
Figura 32 Medición de las propiedades dieléctricas	100
Figura 33 Ordenamiento de datos de las propiedades fisicoquímicas según cada hora post mortem	101

Figura 34 <i>Clasificación de la calidad de la carne</i>	101
Figura 35 <i>Ordenamiento de los espectros dieléctricos según cada hora post mortem</i>	102
Figura 36 <i>Ordenamiento de los espectros según el tipo de carne y sexo</i>	102

RESUMEN

En el presente estudio de investigación se planteó como objetivo general evaluar la técnica de espectroscopía dieléctrica como herramienta de predicción de la calidad en el seguimiento post mortem de la carne de cerdo, dónde se analizaron un total de 80 músculos de “*Longissimus dorsi*” de aproximadamente 1 kg cada uno a 4 ± 1 °C. Para este fin se determinaron propiedades fisicoquímicas como: pH y color a las 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 27 horas post mortem (hpm); humedad 8 hpm y pérdida por goteo (Drip Loss) a las 27 hpm; asimismo, también se determinaron propiedades dieléctricas (constante dieléctrica y factor de pérdidas) en el rango de microondas (0.5 – 9 GHz) a las 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 27 hpm. Para el análisis estadístico se utilizó el modelo matemático de regresión lineal de mínimos cuadrados parciales (por sus siglas en inglés PLSR), y para la evaluar el rendimiento de dicho modelo de predicción se utilizó el coeficiente de determinación (R^2) y la raíz de la sumatoria del error cuadrático medio (RMSE); obteniéndose resultados para el caso del pH un $R^2 = 0,81$ para las muestras de cerdos machos y un $R^2 = 0,53$ para las muestras de cerdos hembras en carnes RFN y un $R^2 = 0,69$ para cerdos machos y un $R^2 = 0,73$ para cerdos hembras en carnes DFD; en el caso del color (L^*) se logró obtener un $R^2 = 0,81$ para cerdos machos y un $R^2 = 0,71$ para cerdos hembras en carnes RFN y un $R^2 = 0,68$ para cerdos machos y un $R^2 = 0,74$ para cerdos hembras en carnes DFD; Concluyendo que la técnica de espectroscopía dieléctrica es una buena herramienta de predicción de calidad en el seguimiento post mortem de la carne de cerdo.

Palabras claves: Carne, calidad, predicción, espectroscopia dieléctrica.

ABSTRACT

In the present research study, it was established as a general objective to evaluate the dielectric spectroscopy technique as a quality prediction tool in the post mortem monitoring of pork, where a total of 80 "Longissimus dorsi" muscles of approximately 1kg each were analyzed at 4 ± 1 °C. For this purpose, physicochemical properties were determined such as: pH and color at 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 and 27 hours post mortem (hpm), humidity 8 hpm and drip loss (Drip Loss) at 27 hpm; likewise, dielectric properties (dielectric constant and loss factor) were also determined in the microwave range (0.5 - 9 GHz) at 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 and 27 hpm. The partial least squares linear regression mathematical model was used (PLSR) for the statistical analysis, and the coefficient of determination R^2 and the root of the sum of the mean square error (RMSE) were used to evaluate the performance of this prediction model; obtaining results for the case of pH = 0.81 for samples of male pigs and $R^2 = 0.53$ for samples of female pigs in RFN meat and $R^2 = 0.69$ for male pigs and $R^2 = 0.73$ for female pigs in DFD meat; in the case of color (L^*), it was possible to obtain $R^2 = 0.81$ for male pigs and $R^2 = 0.71$ for female pigs in RFN meat and $R^2 = 0.68$ for male pigs and $R^2 = 0.74$ for female pigs in DFD meat; concluding that the dielectric spectroscopy technique is a good quality prediction tool in postmortem monitoring of pork.

Keywords: Meat, Quality, Prediction, Dielectric Spectroscopy.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el Perú la producción de carne de cerdo ha ido aumentando durante los últimos 20 años; tanto así que ha llegado a ubicarse dentro de las tres carnes más consumidas por la población; alcanzando un consumo per cápita de 5,5 Kg/año por persona, debido a que posee propiedades nutricionales como proteínas, vitaminas (A, B,C y E), grasas (ácido oleico) y minerales (hierro y zinc) las cuales son básicas para el buen funcionamiento del organismo humano; asimismo, dentro de las principales regiones con mayor producción de porcinos tenemos: Lima (45%), la Libertad (11%), Arequipa (7%), Huánuco (5%) y Cajamarca (4%) (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2020).

En la región Cajamarca se producen aproximadamente 6,3 mil toneladas de carne de cerdo al año (Minagri, 2020). Siendo Chota una de las provincias con mayor producción y comercialización de carne porcina; pero sin embargo este producto es consumido sin un análisis previo que determine la calidad fisicoquímica y el tipo de carne que la población consume, lo que conlleva a consumir una carne que no cumple con los estándares de calidad y que representan un peligro para el consumidor.

La conversión de músculo a carne es un suceso complejo, que involucra una cadena de reacciones y transformaciones tanto físicas, químicas y bioquímicas; las mismas que son responsables de la calidad de la carne (Loayza, 2017). Asimismo, cuando cesa el flujo sanguíneo, el músculo deja de recibir suministro de oxígeno, glucosa, ácidos grasos, aminoácidos y el metabolismo del glucógeno se transforma de aeróbico a anaeróbico, generando la sobreproducción de ácido láctico, el agotamiento de ATP, la disminución de pH, la desnaturalización de las proteínas y el descenso de la temperatura; originando nuevas

condiciones intracelulares las cuales son responsables de la calidad de la carne (Gamero Negrón, 2015).

La calidad de la carne está dada por diferentes características, tales como las organolépticas (color, terneza, sabor y olor), nutricionales y tecnológicas (pH, color, capacidad de retención de agua, pérdida por goteo, contenido de grasa, cantidad de proteína y textura), las cuales se determinan a través de métodos tradicionales que muchas veces presentan desventajas como: ser destructivas, costosas, demandan de mayor tiempo y requerimiento de personal capacitado para dichos análisis (Loayza, 2017).

Es por ello que existe la necesidad buscar nuevas tecnologías alternativas a las tradicionales, siendo algunas de estas técnicas la Espectroscopía de Infrarrojo cercano (NIR), Espectroscopía de Imágenes hiper espectrales (HSI), Espectroscopía Raman (ER), Espectroscopía de reflectancia visible (VIS) y Espectroscopía dieléctrica (ED). Estos métodos, tienen la ventaja de ser no destructivos, se obtienen resultados de manera rápida, y con mayor exactitud, son amigables con el medio ambiente y sobre todo se pueden utilizar en líneas de producción como herramienta de control de calidad de diferentes productos agroalimentarios (Reyes, 2018).

En este contexto, observándose estudios prometedores a partir de la aplicación de la espectroscopía dieléctrica, y al no existir una caracterización fisicoquímica y dieléctrica de una de las carnes más consumidas en la región Cajamarca, como es la carne de cerdo, se planteó realizar esta investigación con el objetivo general de evaluar la técnica de espectroscopía dieléctrica como herramienta de predicción de la calidad en el seguimiento post mortem de la carne de cerdo; y como objetivos específicos determinar las características fisicoquímicas de la transformación de músculo a carne; clasificar la carne de cerdo a partir de sus parámetros fisicoquímicos; determinar las propiedades dieléctricas en el rango de microondas (0.5 – 9 GHz) durante la transformación de músculo a carne y predecir los parámetros de calidad.

Asimismo, se planteó la siguiente hipótesis “ La técnica de espectroscopia dieléctrica permite predecir estadísticamente la calidad de la carne de cerdo durante el seguimiento post mortem”.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Traffano et al. (2020) utilizaron nuevas metodologías para evaluar las propiedades dieléctricas en el rango de radiofrecuencias y microondas en carne de pollo en la ciudad de Valencia - España. Para ello analizaron propiedades fisicoquímicas (pH, color, proteínas, contenido de lactato y microestructura) de 113 muestras de pechuga de pollo a las 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 26, 50, 74, 98 y 146 horas post mortem. Los espectros dieléctricas fueron adquiridas en el rango de radiofrecuencias (40 Hz – 1 MHz) y microondas (500 MHz – 20 GHz) a través de dos sistemas: uno conformado por tres electrodos de extremo romos acoplados a un analizador de impedancia Agilent 4294A y otro conformado por sonda coaxial abierta Agilent 85070E acoplado a un analizador de redes vectoriales Agilent E8362B. Como resultados obtuvieron una correlación directa entre la constante dieléctrica y la degradación de las proteínas (actina-miosina) en la dispersión- β , así también comprobaron que las propiedades dieléctricas y la conductividad iónica en las dispersiones α y β son capaces de realizar la predicción de la transformación de músculo a carne de pollo, de forma no destructiva.

Traffano et al. (2018) estudiaron un innovador sistema fotónico en el rango de radiofrecuencia y microondas para determinar la calidad de carne de pollo en la ciudad de Valencia - España. Para ello, determinaron características fisicoquímicas (pH, color, humedad y actividad de agua) y propiedades dieléctricas en los rangos de radiofrecuencia (40 Hz-1 MHz) y microondas (500 MHz -20 GHz), de 46 carcasas de pollo (pechugas). Para la obtención de espectros dieléctricos en radiofrecuencia utilizaron un sensor de tres electrodos de punta roma conectado a un analizador de impedancia Agilent 4294A y para los espectros dieléctricos en

microondas utilizaron una sonda coaxial de extremo abierto agilent 85070E conectado a un analizador de redes vectoriales Agilent E8362B. Obteniendo como resultado una relación directa entre constante dieléctrica y la evolución del pH en la dispersión α y entre la constante dieléctrica y la degradación de proteínas estructurales (colágeno, actina y miosina) en la dispersión β , llegando a concluir que es posible correlacionar las constantes dieléctricas en la dispersiones α y β con los tipos de calidad de carne (PSE, RFN y DFD).

Traffano et al. (2015) utilizaron la espectroscopía dieléctrica para predecir la actividad de agua de la carne de cerdo durante el proceso de secado en la ciudad de Valencia - España; para ello, determinaron: actividad de agua, volumen, masa, humedad y propiedades dieléctricas de muestras (*Longissimus dorsi*) de carne de cerdo frescas y secas. Los espectros dieléctricos fueron adquiridos en el rango de microondas (500 MHz a 20 GHz), a través de una sonda coaxial abierta Agilent 85070E acoplado a un analizador de redes vectorial Agilent E8362B. Obteniendo una relación directa entre el factor de pérdida dieléctrica y cantidad de agua en la superficie de la muestra a 20 GHz, así mismo también identificar el punto de equilibrio de secado, en el cual la temperatura de la superficie del alimento alcanza la temperatura del aire de secado; llegando a concluir que la espectroscopía dieléctrica a 20 GHz, es una buena técnica para la predicción la actividad de agua.

Ngadi et al. (2015) determinaron las propiedades dieléctricas del músculo de cerdo en la ciudad de Quebec - Canadá. Las muestras de carne fueron clasificadas previamente por un especialista en carnes en cuatro clases de calidad (PFN, PSE, RFN y RSE), la clasificación fue de manera subjetiva . Las propiedades dieléctricas fueron adquiridas en frecuencias de 200 MHz a 20 GHz en un rango de temperatura de 25 a 85 °C, a través de una sonda de alta temperatura Agilent 850770B interconectado a un analizador de redes de parámetros Agilent 8722ES. Para el análisis de datos utilizaron el análisis discriminante canónico (CDA) con la finalidad de distinguir las distintas clases de carne. En sus resultados obtuvieron cambios

significativos ($p < 0,05$) en desnaturalización de proteínas a 2400 MHz a 70°C, entre carnes firmes y no exudativas (RFN y PFN) y entre carnes blandas y exudativas (RSE y PSE).

Castro, Concepción et al. (2010) utilizaron la espectroscopía dieléctrica en el rango de microondas para evaluar la calidad de la carne de cerdo en la Ciudad de Valencia – España; En dicho estudio determinaron propiedades fisicoquímicas como: pH a las 2 y 24 horas post mortem (hpm), color y Drip Loss a las 24 hpm, ATP a las 2, 4, 6, 8 y 24 hpm y propiedades dieléctricas a las 2, 24, 48 y 168 hpm. Las propiedades dieléctricas fueron adquiridas en un rango de microondas (500 MHz a 20 GHz) a través de una sonda coaxial de extremo abierto Agilent 85070E interconectado a un analizador de redes vectorial Agilent E8362B. Los resultados obtenidos manifestaron diferencias significativas a frecuencias de 0.5 GHz y 10 GHz entre las tres clases de calidad de carne (DFD, PSE y RFN) a las 6 horas post mortem. Concluyendo que a frecuencias de 0.5 GHz y 10 GHz es posible desarrollar algoritmos de clasificación de la calidad carne de cerdo.

Castro, Botella et al. (2010) utilizaron los espectros dieléctricos de baja frecuencia (radiofrecuencia) para determinar los tipos de calidad de la carne de cerdo en Valencia - España. Determinaron propiedades fisicoquímicas como: pH a las 2 y 24 horas post mortem (hpm), color y pérdida por goteo a las 24 hpm; asimismo, determinaron propiedades dieléctricas a las 12, 24, 48 y 168 horas post mortem a $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los espectros dieléctricos fueron obtenidas en un rango de radiofrecuencia (100 Hz a 0,4 MHz), en dirección perpendicular y paralelo a la fibra muscular, a través de un analizador de placas paralelas Agilent 16451B conectado a un analizador de impedancia Agilent 4194A. Obteniendo como resultados diferencias características ($p < 0,05$) en los rangos de 140 Hz, 500 Hz y 300 KHz tanto en los espectros dieléctricos de la constante dieléctrica y el factor de pérdida de las muestras de carne PSE y RFN a las 24 y 48 horas post mortem respectivamente. Llegando a

concluir que la espectroscopía dieléctrica en radiofrecuencia es capaz de realizar una clasificación de carne a las 24 horas post mortem.

Castro, Fito y Fito (2010) aplicaron la espectroscopía dieléctrica de microondas para estudiar el proceso de salazón en muestras (*Longissimus dorsi*) de carne de cerdo en la ciudad de Valencia - España. Para dicho estudio midieron las propiedades dieléctricas en carne fresca y saladas (16 horas después del salazón) a través una sonda coaxial de extremo abierto Agilent 85070E conectado a un analizador vectorial de redes Agilent E8362B en un rango de frecuencia de 500 MHz a 20 GHz. Asimismo, determinaron contenido de sal, humedad, actividad de agua y volumen; observando que las propiedades dieléctricas están fuertemente relacionada con la estructura y composición de la carne porcina salada, llegando así a concluir que la espectroscopía dieléctrica en el rango de 500 MHz es capaz de determinar el contenido de agua en el proceso de salazón en carne de cerdo.

Castro, Fito, Toldrá et al. (2010) utilizaron la espectroscopía visible para evaluar la transformación de músculo a carne, en muestras de cerdo en Valencia - España. Para ello, analizaron propiedades fisicoquímicas como: pH (a las 2, 4, 6, 8, 24, 48 horas y 7 días post mortem) y pérdida de agua por goteo (a las 72 hpm) de 26 lomos de cerdo, para posteriormente realizar una clasificación de calidad de carne (PSE, DFD y RFN); asimismo, determinaron los espectros de reflectancia en una rango de 400 y 700 nm, a las 12, 24, 48, y 168 horas post mortem, a través de un minolta CM-3600D, evidenciándose que la evolución de los espectros visibles de las carnes PSE y RFN se ven influenciados por el tiempo de deterioro a los 7 días post mortem , algo que no sucede en carnes DFD.

Andersen et al. (2021) realizaron la predicción de pH y contenido de agua en carcasas de cerdo mediante espectroscopía Raman en la ciudad de Noruega. Para este estudio se evaluaron parámetros fisicoquímicos (pH y drip loss) y espectros Raman de 101 cerdos. Los espectros Raman fueron recolectados en el rango de 300 - 1890 cm^{-1} a través de un analizador

Raman multicanal Kaiser Raman RXN2tm. Para el análisis estadístico utilizaron el modelo multivariante de mínimos cuadrados parciales (PLSR), el coeficiente de determinación validación cruzada (R^2_{cv}) y el error cuadrático medio de validación cruzada (RMSE_{cv}). Obteniendo $R^2_{cv} = 0,72$ y RMSE_{cv} = 1,27 para drip loss; y $R^2_{cv} = 0,72$ y RMSE_{cv} 0,05 para pH, llegando así a concluir que la espectroscopía Raman es capaz de predecir la aptitud de la carne.

Khan et al. (2020) predijeron las características fisicoquímicas y autenticidad de diferentes muestras de carne (res, cerdo, pollo y pavo) mediante espectroscopía infrarroja por transformación de fourier (FT-IR) en la ciudad Faisalabad – Pakistán. Para este fin analizaron propiedades fisicoquímicas (pH, color, pérdida por goteo, humedad, ceniza, grasa y proteína) y espectros infrarrojos. Los espectros infrarrojos fueron adquiridos a través de múltiples medidas en el rango de 4000 – 650 cm^{-1} . Para el análisis estadístico utilizaron el análisis de componentes principales (PCA) y la regresión de mínimos cuadrados parciales (PLSR); asimismo también utilizaron el coeficiente de determinación para calibración (R^2_c) y validación (R^2_v); y la raíz de la sumatoria del error cuadrático medio de calibración (RMSEC) y de predicción (RMSEP). Obteniendo como resultado una buena predicción para el color en la coordenada L^* $R^2 = 0,92$; a^* $R^2 = 0,98$ y b^* $R^2 = 0,87$; y una moderada predicción para pH $R^2 = 0,65$, humedad $R^2 = 0,76$ y drip los $R^2 = 0,65$.

Barbina et al. (2012) utilizaron la técnica de imagen hiperespectral para determinar la calidad de la carne de cerdo en la ciudad de Dublín - Irlanda. Para ello, midieron parámetros fisicoquímicos (color, pH y pérdida por goteo) e imágenes hiperespectrales en el rango de 900 - 1700 nm de diferentes muestras de carne de cerdo. Para examinar la influencia de las variaciones espectrales en la predicción de los parámetros de calidad de la carne, utilizaron los métodos matemáticos de la variante normal estándar (SNV), la corrección de dispersión multiplicativa (MSC)) y la regresión de mínimos cuadrados parciales (PLSR). Los resultados

mostraron que la reflectancia del color, el pH y la pérdida por goteo se puede predecir con los coeficientes de determinación (R^2_{CV}) de 0,93; 0,87 y 0,83, respectivamente.

2.2. Bases teóricas- científicas

2.2.1. Carne

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015) puntualiza que carne es “todas las partes de un animal que han sido determinadas como inocuas y aptas para el consumo humano o son destinadas para este fin” (p.5).

Horcada y Polvillo (2010) mencionan que la carne es la organización anatómica formada por fibras musculares, fibras nerviosas, tejido conectivo, tejido muscular, tejido nervioso, grasa, vasos sanguíneos, etc. de los diferentes animales autorizados para el consumo humano.

Robaina (2012) menciona que la carne es la porción saludable e higiénica de los músculos de los diferentes animales, que han sido declarados aptos para el consumo humano; los cuales han pasado por una previa inspección veterinaria.

Para la parte bioquímica la carne es el resultado de una serie de reacciones tanto físicas, químicas y bioquímicas que se dan tras la muerte del animal (Gomez Sanchez, 2016).

2.2.2. Composición química de la carne

La carne de cerdo esta formada principalmente por agua, proteínas, grasas y cenizas los mismos que se presentan en la Tabla 1; sin embargo éstas características pueden variar según diversos factores (genética, raza, edad, sexo, peso, alimentación, pieza cárnica, manejo y producción) (Horcada y Polvillo, 2010).

Tabla 1*Composición química de la carne de cerdo en base a 100 g*

Composición química	Araneda (2022)	Menchú y Méndez (2012)	Valero et al. (2010)
Agua (%)	53	78,4	65,3
Proteína (%)	25,1	17,9	19,1
Grasa (%)	20,7	2,6	13,7
Ceniza (%)	-	1,5	1,1

Nota. Tomado de la Araneda (2022); Menchú y Méndez (2012); Valero et al. (2010).

2.2.3. Transformación de músculo a carne

La transformación de músculo a carne es un suceso complejo, que involucra una serie de reacciones y transformaciones tanto físicas, químicas, bioquímicas y metabólicas las cuales se llevan a cabo tras la muerte del animal; generalmente la conversión de músculo a carne se lleva cabo en tres fases: El rigor o pre-rigor, el rigor mortis y la maduración (Hernández, 2010).

2.2.3.1. Pre-rigor. Llamada también fase de demora, es el tiempo que transcurre tras la muerte del animal, en donde la estructura proteica aún no han sufrido ningún cambio y el músculo todavía presenta contracción muscular, en la carne porcina esta fase puede durar de 15 minutos hasta 3 horas (Hernández, 2010). Posterior a la muerte del animal el flujo sanguíneo en el músculo es interrumpido y con ello el abastecimiento de oxígeno y nutrientes a las células, pero aún así estas continúan con su actividad metabólica a nivel local, intentando mantener la homeostasis de las células del músculo; pero a medida que se se agota el glucógeno, el músculo pierde elasticidad y comienza a contraerse (Lopez, 2018).

2.2.3.2. Rigor Mortis (Rigidez cadavérica). El rigor mortis es la segunda etapa de la transformación de músculo a carne, en donde se genera una contracción muscular

irreversible, debido a la formación de enlaces cruzados permanentes entre las proteínas de actina y miosina (Ariel, 2020). Esta contracción muscular es similar a lo que sucede en el animal vivo, lo único que lo diferencia es la falta de energía para separar la actina de la miosina (Nuñez, 2015). Este suceso se caracteriza principalmente por la obtención y consumo de ATP debido a la insuficiencia energética producida durante el sacrificio, la misma que conlleva a la acumulación de ácido láctico, descenso de pH, desnaturalización de las proteínas, reducción de la capacidad de retención de agua y la disminución de la temperatura (Montoya, 2014). El rápido agotamiento de ATP genera el incremento de la concentración de Ca^{2+} debido al fallo de las bombas Ca^{2+} , K^{2+} y Na^{2+} , induciendo a la contracción de las proteínas musculares (actina y miosina) y consumo de ATP, en consecuencia el músculo pierde su extensibilidad natural y se genera el fenómeno post mortem que se conoce como rigor mortis (Jara, 2007). El inicio de la etapa de rigor mortis es variable, puede iniciar entre las 3 a 8 horas post mortem y puede perdurar de 20 a 40 horas post mortem, dependiendo muchas veces de las condiciones antemortem y de las condiciones ambientales (Asencios Gómez, 2004).

2.2.3.3. Maduración. Es la tercera y última etapa de la transformación de músculo a carne, en la que se genera una serie de cambios tanto fisiológicos y bioquímicos, ocasionados por procesos enzimáticos endógenos; los mismos que ocasionan la degradación de las proteínas miofibrilares (Actina, miosina, tropomiosina, desamina, troponina y titina) (Gomez Sanchez, 2016; Montoya, 2014). Las reacciones enzimáticas (caspasas, calpaínas, proteasomas, catepsinas) rompen las proteínas del músculo, generando la disminución de la capacidad de retención de agua del músculo lo que conlleva al ablandamiento de la carne (Vitale, 2016). En la carne de cerdo la etapa de maduración puede durar de 3 a 6 días (Cotto y Montoya, 2022).

2.2.4. Clasificación de la calidad de la carne

2.2.4.1. Carne Pálida, Blanda y Exudativa (por sus siglas en inglés PSE). La carne PSE es un defecto de calidad típico de los porcinos, que generalmente son ocasionados por periodos de estrés agudos previo al sacrificio. Periodos que pueden ser generados por factores intrínsecos (genética, raza, edad, sexo, castración) y extrínsecos (infraestructura de las granjas, alimentación, manejo productivo, ayuno, carga, transporte, descarga, reposo, enfriamiento de la canal y temperatura), los mismos que forman una cadena de procesos bioquímicos anormales en el músculo (Bekele, 2014). Estos procesos principalmente se caracterizan por presentar una tasa de glucólisis muy elevada en la primera hora posterior a la muerte, que combinado con la sobreproducción de lactato y la elevada temperatura muscular, genera el rápido descenso del pH, gran desnaturalización de las proteínas, a comparación de otros tipos de carne, poca capacidad de retención de agua y el alto porcentaje de exudación (Hernández, 2010). Cuando el descenso del pH es menor de 5,6 y sucede antes de que el músculo pueda ser enfriado rápidamente, produce una irregular desnaturalización de las proteínas musculares, produciendo así una carne de aspecto pálido, textura suave y exudativa (Nuñez, 2015).

2.2.4.2. Carne Oscura, Firme y Seca (Siglas en inglés DFD). La carne DFD es un defecto de calidad de la carne, que es asociada principalmente por periodos de estrés prolongados antes o durante el sacrificio del animal, estos periodos generalmente son ocasionados por el transporte inadecuado, los largos periodos de transporte, el reposo insuficiente, el ayuno extendido, las peleas en áreas de reposo, entre otros (Timaure et al., 2020). Todos estos acontecimientos provocan que los músculos no tengan suficiente glucógeno para llevar a cabo el normal proceso de la glicólisis, lo que conlleva a la baja producción de ácido láctico, la baja desnaturalización de las proteínas y elevada capacidad de retención de agua en la transformación de músculo a carne; estos sucesos

antes mencionados son los responsables de la formación de carnes de textura dura, aspecto seco y color rojo oscuro (Cruz, 2014; Tamburini, 2020)

2.2.4.3. Carne Roja, Firme y No Exudativa (Siglas en inglés RFN). Este tipo de carne es aquella que cumple con los parámetros de calidad establecidos y presenta características idóneas (color rojo brillante, textura firme y apariencia normal) las cuales hacen que sea un producto adecuado tanto para el consumo humano como para la elaboración de subproductos cárnicos (Hernandez, 2010).

2.2.4.4. Carne Rojiza – Rosácea, Blanda y Exudativa (Siglas en inglés RSE). Este tipo de carne presenta niveles de desnaturalización de proteínas y pérdidas agua por goteo similares a las carnes PSE, lo único que lo diferencia es que ésta mantiene su color característico debido al enfriamiento rápido de la canal después del sacrificio y la disposición genética (Hernandez, 2010).

2.2.4. Calidad de la carne

La calidad de la carne está compuesta por una serie de características dentro de las cuales destacan la composición nutricional, las características organolépticas, la calidad tecnológica y la calidad sanitaria; las mismas que se describen en la Tabla 2; dichas características influyen en la aceptabilidad y preferencia del consumidor (Brito, 2010; Campión, 2013; Segarra et al., 2018).

Tabla 2*Aspectos que conforman la calidad de la carne*

Calidad Sanitaria	Calidad sensorial	Calidad nutricional	Calidad Tecnológica
Higiene microbiológica (Ausencia de patógenos y Residuos)	Color Sabor Olor Terneza Jugosidad	Cantidad de grasa Composición de ácidos grasos Valor proteico	pH Color Humedad Capacidad de retención de agua (CRA) Separación de tejidos Estabilidad oxidativa

Nota. Datos tomados de Orno Badia (2016).

2.2.5. Factores que afectan la calidad de la carne

La calidad de la carne depende tanto de factores intrínsecos como extrínsecos.

2.2.5.1. Factores intrínsecos

a) Genética. Es el factor más influyente en la calidad de la carne de cerdo, debido a que la genética de cada animal es diferente y por ende pueden presentar distintos grados de estrés; por ejemplo los cerdos que contienen el gen Napole y halotano tienen mayor incidencia al síndrome de estrés porcino (PSS) y por ende tienden más a la formación de carnes pálidas, suaves y exudativas (PSE) (Camacho, 2013; Vasquez Puentes, 2020).

b) Raza. Es un factor que puede afectar la calidad de carne, especialmente en la composición nutricional, en el color, la textura, la terneza y sobre todo en la transformación de músculo a carne (Lascano Clavijo, 2021).

c) Sexo. Es un componente que puede afectar los parámetros de calidad de color, sabor, composición, terneza y capacidad de retención de agua, los cuales se correlacionan con la susceptibilidad del animal al estrés. Existen diversos estudios que señalan que los

cerdos machos tienen menor contenido de grasa y son más susceptibles al estrés en comparación con las hembras (Lascano Clavijo, 2021).

d) Edad. Es un elemento determinante en los parámetros de color, pH, terneza y la capacidad de retención de agua, es decir a medida que el animal crece los músculos generan mayor contenido de fibras rojas, debido al incremento de la concentración de la mioglobina, lo que hace que la carne sea vea de un tono más oscuro (Onega, 2003). El tamaño y porcentaje de las fibras también varían a medida que la edad avanza, modificando la actividad metabólica del músculo; el mismo que genera un incremento en la caída del pH final y la capacidad de retención de agua; por otro lado, el contenido de grasa, es otro de los parámetros que varía de acuerdo a la edad (a mayor edad mayor contenido de grasa) (Lascano Clavijo, 2021).

e) Peso. El peso de los animales es un factor muy discutido en lo que respecta al efecto que causa en la aptitud de la carne, debido a que este depende muchas veces de la genética, la edad, el sexo y estado de desarrollo del animal; siendo así que, a medida que se incrementa la edad se incrementa también el peso y con ello las proporciones de tejidos, carne, hueso y grasa (Vásquez, 2020).

f) Castración. La condición reproductiva de los cerdos es otro factor intrínseco muy trascendental, debido a que éste juega un papel importante en contenido de grasa, olor y peso; los cerdos castrados presentan mayor contenido de grasa, poco olor sexual y presentan mejores características tecnológicas a comparación de los cerdos no castrados (Gamero Negrón, 2015).

2.2.5.2. Factores extrínsecos

a) Alimentación. Las condiciones y el tipo de alimentación puede influenciar en la composición nutricional de la carne, en la jugosidad, dureza, flavor y sobre todo en el color (Onega, 2003); sin embargo estas características se ven asociados con otros factores

como: La genética, raza, edad, manejo y sacrificio (Coma y Piquer, 2000). El alimento balanceado (rico en vitaminas y minerales) reduce el potencial glucolítico, mantiene constante el color y la estabilidad de la canal (Vásquez, 2020).

b) *Ayuno.* El tiempo de ayuno antes del transporte y antes del sacrificio es un factor crucial en la calidad de la carne, debido a que los cerdos con el estómago vacío son más fáciles de mover, cargar y transportar, además disminuye la tasa de mortalidad al momento de transportarlos (Camió, 2013). Asimismo, el ayuno se realiza con la finalidad de impedir un tracto gastrointestinal sobrecargado durante el transporte y reducir el nivel de glucógeno en el músculo, generalmente el tiempo de ayuno debe ser de 12 a 24 horas (Eusse Gómez, 2009; Mogrovejo, 2021).

c) *Transporte y manejo.* El tipo y tiempo de transporte es uno de los factores más significativos que determina la calidad de la carne, debido a que en este tiempo se despliegan una serie de cambios físicos, químicos y psicológicos, los mismos que son determinantes al momento del faenado (Vasquez Puentes, 2020). El tiempo de transporte, las condiciones de transporte, la carga, la densidad, el confinamiento, descarga, la mezcla de cerdos de diferentes corrales y especialmente con el manejo del personal encargado, son algunos factores que generan un gran estrés en los animales afectando la conversión de músculo a carne y por ende la calidad de la carne (Mogrovejo, 2021).

d) *Tiempo de reposo.* El tiempo de reposo previo al sacrificio del animal es fundamental, debido a que éste permite que el animal recupere sus condiciones fisiológicas perdidas y regularice sus condiciones metabólicas, a través de la renovación de los niveles de glucógeno muscular (Mogrovejo, 2021). Sin embargo, los tiempos de reposo excesivos generan el agotamiento del glucógeno y favorecen la formación de las carnes oscuras, secas y firmes (Jerez et al., 2013). El tiempo óptimo de reposo de los

animales es de 12 horas, durante ese periodo solo se permite el consumo de agua (Reglamento Tecnológico de Carnes, 2012).

e) Enfriamiento de la canal. La temperatura y la velocidad de enfriamiento de la canal es crucial en las horas post mortem iniciales, debido a que se puede reducir el acortamiento del músculo y las reacciones metabólicas; sin embargo las bajas temperaturas pueden causar un encogimiento excesivo del músculo, ocasionando el problema de “acortamiento por frío” (Onega, 2003).

f) Temperatura. Es uno de los factores post mortem más significativos, debido a que éste puede acelerar el proceso metabólico de la glucólisis anaeróbica generando el agotamiento del ATP, la acumulación de lactato y la caída del pH (Lascano Clavijo, 2021). La caída de la temperatura se ve influenciada por otros factores como: especie, raza, peso, contenido de grasa y humedad del ambiente (Lascano Clavijo, 2021). Es por ello que se recomienda trasladar la canal a cámaras de refrigeración a una temperatura de 0 a -2 °C (Asencios Gómez, 2004).

2.2.6. Parámetros que determinan la calidad de la carne de cerdo

2.2.6.1. Potencial de hidrógeno (pH). Esta determinado por la concentración de iones de hidrógeno; su descenso adecuado va influenciar en las características organoléptica y tecnológica de la carne, debido a que es el principal proceso bioquímico que se lleva a cabo durante el rigor mortis; cuando el animal está vivo el pH del músculo se encuentra en el rango de 6,7 a 7,2 considerándose neutro, después del rigor mortis puede alcanzar valores entre 5,8 y 5,4, debido al agotamiento del ATP, la acumulación de lactato y la disminución de la temperatura (Montoya, 2014). El descenso del pH afecta directamente a la estabilidad y la degradación de las proteínas, y su valor final influirá en el resto de los atributos de calidad (color, textura, capacidad de retención de agua y drip loss) (Ramírez, 2004).

2.2.6.2. Color. Es un atributo de calidad, que tiene en cuenta el consumidor al momento de elegir o comprar cualquier tipo de carne y en especial la carne porcina (Lascano Clavijo, 2021). La coloración de la carne está determinado por dos pigmentos la mioglobina y hemoglobina, pero tras el sacrificio del animal solo se mantiene la mioglobina, debido a que la hemoglobina es eliminada con el sangrado (Camió, 2013). Asimismo, posterior al sacrificio del animal el color de la carne experimenta varios cambios, debido al proceso de la glucólisis; cuando desciende el contenido de oxígeno, también desciende el potencial del óxido reductor generando la transformación de la oximioglobina en mioglobina, y de la mioglobina en metamioglobina (Montoya, 2014). Por otro lado, Bianchi y Feed (2010) mencionan que la coloración de la carne depende fundamentalmente de la cantidad de pigmentos (principalmente mioglobina), citocromos y flavinas; las mismas que pueden ser influenciadas por la raza, sexo, peso, edad, alimentación, tipo de músculo, temperatura y método de conservación.

2.2.6.3. Capacidad de retención de agua. Es la habilidad que adquiere el músculo para mantener unida su propia agua, inclusive bajo la influencia de fuerzas externas (corte, presión, calor, etc.), este estado puede afectar los aspectos cualitativos en la carne y retener en ella vitaminas, minerales y las sales; asimismo también puede afectar aspectos cuantitativos e incrementar o disminuir el volumen de agua retenida, viéndose ésta reflejada en las propiedades sensoriales del color, textura y firmeza (Fernando Garcia, 2007). Los músculos que pierden agua con facilidad son más secos, blandos y presentan mayor merma de peso durante la refrigeración, el almacenamiento, el transporte y la comercialización (Braña et al., 2011).

2.2.6.4. Textura. Es el atributo de calidad relacionado con la manifestación sensorial de la estructura del alimento y su forma de reaccionar frente a la aplicación de fuerzas mecánicas externas (Lascano Clavijo, 2021; López, 2018). En la carne la textura está

relacionada principalmente con el nivel de contracción muscular, el contenido y naturaleza del colágeno, así como también del estado de las miofibrillas (Ruiz et al., 2004). La textura de la carne puede variar según diversos factores, dentro de las cuales destacan la especie, raza, sistema de producción, sistema de refrigeración y congelado, maduración de la carne, estado de contracción muscular, cantidad y tipos del tejido conjuntivo, temperatura de cocido e incluso puede variar según la técnica de ablandamiento (Braña et al., 2011).

2.2.7. Técnicas de evaluación de la calidad de carne

2.2.7.1. Determinación de textura. La textura de la carne se puede determinar mediante métodos directos e indirectos. Los métodos directos están conformados por los instrumentales y los sensoriales, siendo el más utilizado el método instrumental (Warner-Bratzler), el cual consiste en colocar una muestra de carne cocida a una temperatura determinada en una cuchilla triangular que corta a una velocidad constante y de forma perpendicular a las fibras, aparentando la mordida humana y calculando la fuerza necesaria para cortar y partir dicho muestra (Della Rosa, 2018). Es el método sensorial que permite determinar de manera objetiva las características del producto mediante el uso de los sentidos como el tacto y la vista (Braña et al., 2011). Dentro de los métodos indirectos se tiene, la determinación de la amplitud del sarcómero y la estimación de la cantidad de colágeno intramuscular (Della Rosa, 2018).

2.2.7.2. Determinación de color. La determinación del color de la carne se puede realizar mediante dos métodos: El método químico que se realiza mediante la medición de la concentración de la mioglobina; y método visual o instrumental se realiza mediante el sistema cromático CIELab, este sistema permite medir la coordenada L* que tiende de blanco a negro, la coordenada a* que tiende de roja a verde y la coordenada b* que va de amarillo a azul (Lascano Clavijo, 2021). Tomando en cuenta estos tres datos, se

pueden calcular el croma (C*) y el tono (H), este último es el atributo visual es el que permitira definir si el color de la carne es de color azul, verde, rojo etc. (Montoya, 2014).

2.2.7.3. Determinación de pH. La determinación de pH se basa fundamentalmente en el contenido de iones hidrógeno presentes en una muestra de producto (Pérez y Ponce, 2013). La medición de pH se puede realizar mediante la utilización de potenciómetros o pH-metros los cual registran la diferencia de potencial eléctrico entre un electrodo de medición y otro de referencia, el más recomendado es el pH-metro de penetración, debido a que este tiene utilización en la industria cárnica (Onega 2003).

2.2.7.4. Determinación de humedad. La determinación de la humedad es una de las técnicas más importantes y de mayor uso en la industria de alimentos; la medición de dicho parámetro se puede llevar a cabo a través de la utilización de métodos directos como el secado en estufa o mufla, el secado por radiación infrarroja y el secado químico (Karl Fisher) o indirectos como el secado mediante el método gravimétrico (Tirado et al., 2015). Entre los métodos directos más utilizados tenemos el secado en estufa el cual se realiza a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 24 horas (Auqui, 2014), pero también se puede utilizar el secado rápido mediante el uso de balanzas de humedad (León et al., 2017).

2.2.7.5. Determinación de pérdida de agua por goteo (Drip Loss). La pérdida por goteo es definida como la cantidad de líquido exudado en la superficie de la carne, sin la aplicación de una fuerza mecánica externa, utilizando únicamente la gravedad. El exudado es básicamente agua y proteínas que se liberan del músculo posterior al rigor mortis. La pérdida por goteo está determinada por la diferencia entre el peso inicial y el peso final de la carne expuesta a la fuerza de la gravedad (Braña et al., 2011).

(1)

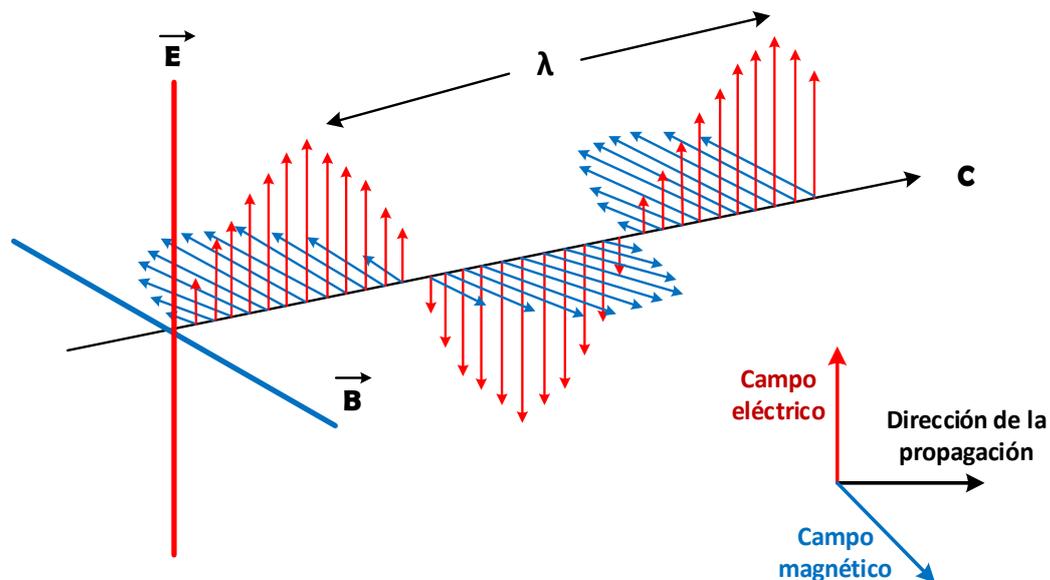
$$\% \text{ exudado} = \frac{\text{peso de la bolsa con exudado} - \text{peso de la bolsa}}{\text{peso inicial de muestra}} \times 100$$

2.2.8. Principios electromagnéticos de la espectroscopía dieléctrica

2.2.8.1. Ondas electromagnéticas. Son generadas por el aumento de velocidad de las cargas eléctricas, las cuales provocan la oscilación de los campos eléctricos y magnéticos, generando ondas de expansión electromagnética; la onda electromagnética es la manera en que la energía se propaga por el espacio gracias a que la contribución de los electrones, ver Figura 1 (Rojas, 2009).

Figura 1

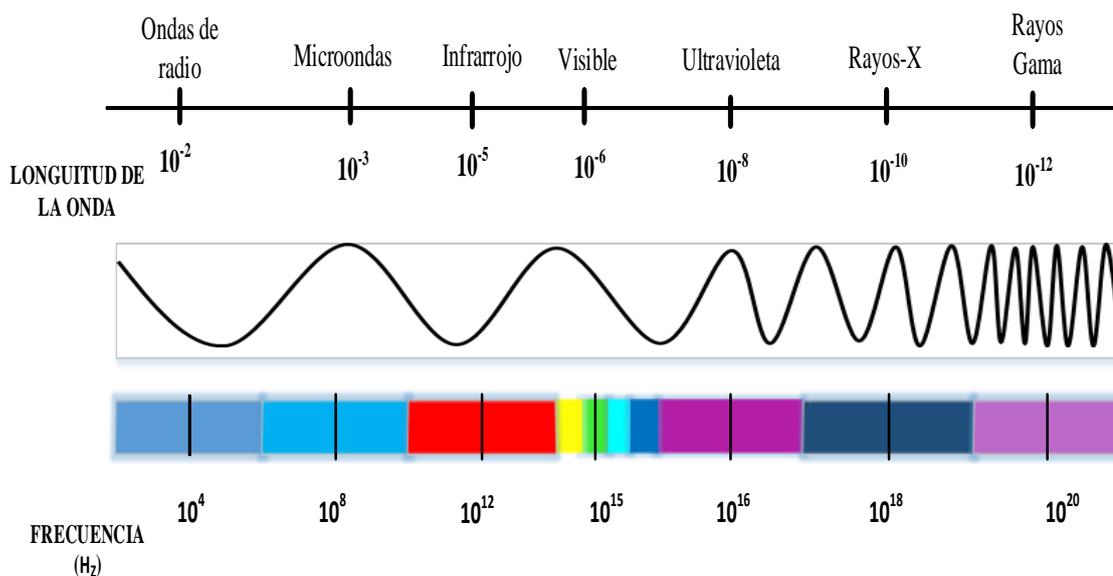
Onda electromagnética.



2.2.8.2. Espectro electromagnético. Está compuesto por un conjunto de longitudes de onda o de frecuencia de la radiación electromagnética (Oberli, 2006), las cuales se dividen en diferentes regiones como: rayos gama, rayos α , rayos ultravioleta, visible, infrarrojo, microondas y radiofrecuencia, así como se muestra en la Figura 2 (Frontal, 2005).

Figura 2

Regiones del espectro electromagnético.

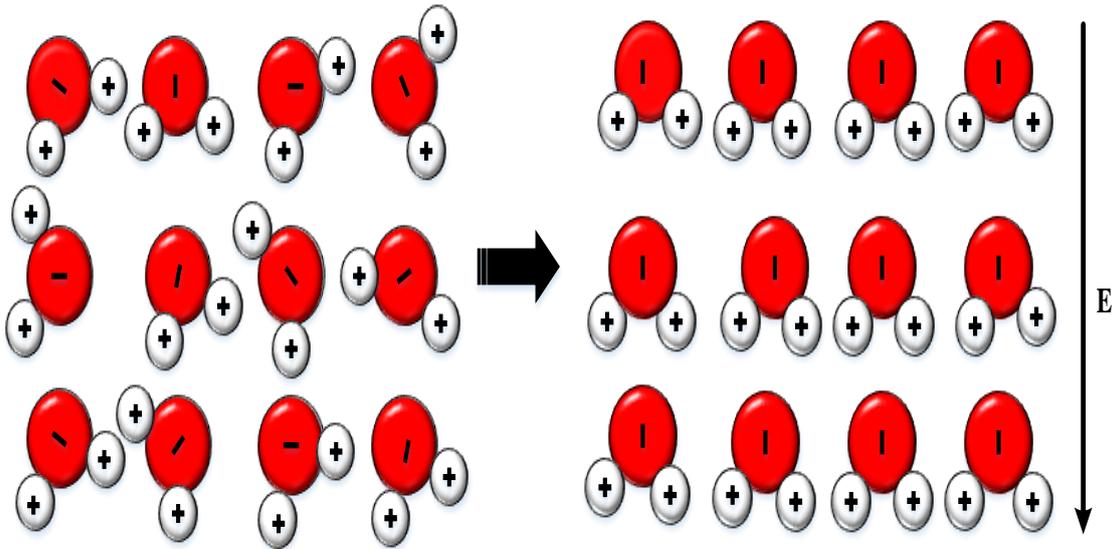


Cabe mencionar que, de todas estas frecuencias, las más significativas y las más utilizadas en la industria alimentaria son: las frecuencias en un rango de radiofrecuencia y microondas; dichas frecuencias al tener un contacto con el alimento, no son capaces de romper enlaces químicos o mover electrones (Bekele, 2014). El rango de Radiofrecuencia o también llamado ondas de radio (RF), hace referencia a la parte menos energética del espectro electromagnético ubicada en el rango de 3 KHz y 300 MHz (Jiao et al., 2014). Por otro lado, en microondas las ondas electromagnéticas se encuentran situadas entre 300 MHz y 300 GHz (Hebbar y Rastogi, 2012).

2.2.8.3. Polarización. El alimento está constituido por moléculas y estas a la vez por átomos e iones, cuando un alimento (carne, frutas, entre otros) es sometido a un campo eléctrico externo, este induce a sus unidades a la polarización en dirección al campo eléctrico, ocasionando el reordenamiento de las nubes electrones y desplazamiento iónico en las moléculas tal y como se presenta en la Figura 3 (Ponce, 2010).

Figura 3

Dipolos alineados con el campo eléctrico



De acuerdo con Gómez (2017) existen dos tipos polarización que puede ser por distorsión y por orientación:

a) Polarización por distorsión. En este caso particular los materiales no poseen dipolos permanentes y la polarización se da cuando a dicho material se le aplica un campo eléctrico externo, el mismo que genera una redistribución de las cargas (Gómez, 2017). Durante este proceso se generan dos mecanismos de polarización, siendo estos la polarización eléctrica (desplazamiento de la nube de electrones con respecto al núcleo) y la polarización atómica (desplazamiento de los átomos con respecto a la longitud de los enlaces o en los ángulos de dichos enlaces) (Montoya, 2014).

b) Polarización de orientación. Es el mecanismo predominante de las moléculas que presentan un momento dipolar permanente; siendo así que, al aplicar un campo eléctrico a un alimento, este genera la modificación de la orientación inicial de las moléculas y da lugar a una nueva orientación dipolar en dirección del campo eléctrico (Gómez, 2017). Además, si la frecuencia se incrementa continuamente, los dipolos no

pueden seguir la rapidez de polarización en el cambio de frecuencia y en consecuencia la polarización no se lleva a cabo (Gomez y Gomez, 2013).

2.2.9. Propiedades dieléctricas.

Las propiedades dieléctricas o también llamada permitividad compleja (ϵ_r) están relacionadas con dos parámetros: la constante dieléctrica y el factor de pérdidas, y es obtenida mediante la Ecuación 2. La constante dieléctrica es la parte real, que está asociada a la capacidad que posee el material para almacenar energía cuando éste es expuesto a un campo electromagnético; por otro lado, el factor de pérdidas, es la parte imaginaria asociada con capacidad que posee el material para disipar la energía en otras formas como por ejemplo en energía térmica (Rosales, 2016; Saguay y Torres, 2011; Venkatesh y Raghavan, 2004).

$$\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \quad (2)$$

Donde

ϵ_r = Permitividad

ϵ_r' = Constante dieléctrica

ϵ_r'' = Factor de pérdida

$j = \sqrt{-1}$

2.2.10. Mecanismos dieléctricos en sistemas celulares

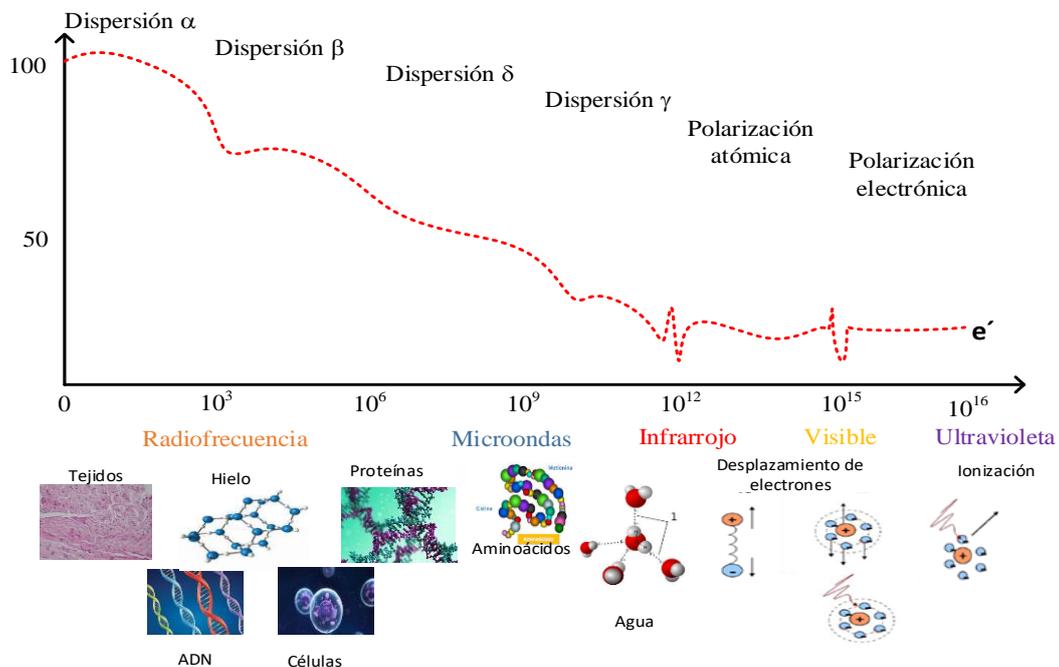
El comportamiento dieléctrico de un alimento puede ser afectado por diferentes mecanismos, los mismos que generalmente se dividen en dos clases: Los fenómenos de resonancia que se llevan a cabo en la región visible y los procesos de relajación que se generan en la región de radiofrecuencia y microondas.

2.2.10.1. Fenómeno de resonancia. Se origina cuando la frecuencia natural del alimento es similar o igual a la frecuencia del campo eléctrico aplicado; dicho fenómeno puede abarcar la polarización eléctrica y atómica (Castro, 2010).

2.2.10.2. Fenómeno de relajación. Está asociado con la capacidad que tiene un material para adaptarse a una nueva situación de equilibrio físico o químico cuando es sometido a campo electromagnético externo (Teruel, 2017); este fenómeno junto con la conductividad eléctrica permite determinar el comportamiento dieléctrico de los alimentos; cada relajación está dada por un lapso de tiempo determinado en que las moléculas tardan en redistribuirse cuando se deja de aplicar un campo eléctrico; asimismo, se puede presentar diversas dispersiones o relajaciones según la frecuencia, ver Figura 4 (Castro, 2010).

Figura 4

Esquematización de las dispersiones según la frecuencia y variación de constante dieléctrica .



2.2.11. Factores que afectan a las propiedades dieléctricas en carnes

De acuerdo a Castro (2010) las propiedades dieléctricas pueden ser afectadas por diversos factores como: La temperatura, frecuencia, composición del alimento y la estructura del alimento.

2.2.11.1. Temperatura. Es un componente muy significativo en la determinación de las propiedades dieléctricas en muestras de carne, siendo así que a mayor temperatura la constante dieléctrica disminuye y a menor temperatura esta se incrementa; por otro lado, el factor de pérdidas a bajas temperaturas se incrementa y desciende al aumentar la temperatura (Ngadi et al., 2015).

2.2.11.2. Frecuencia. Las propiedades dieléctricas en muestras de carne dependen fuertemente de la frecuencia de medida, la misma que puede relacionarse con su composición. En las carnes comúnmente la constante dieléctrica puede alcanzar valores muy altos a frecuencias bajas y a medida que la frecuencia incrementa ésta disminuye en pasos o dispersiones (dispersión α , β , δ y γ); por otro lado, el factor de pérdidas a bajas frecuencias presenta valores altos, pero a medida que la frecuencia aumenta ésta disminuye hasta una frecuencia determinada e incrementa a altas frecuencias, tomando la forma y/o tendencia de U; esto se le atribuye principalmente al fenómeno de conductividad iónica y al fenómeno dipolar (Castro, Concepción et al., 2010; Traffano et al., 2015; Traffano et al., 2018).

2.2.11.3. Composición del músculo. Es un factor que influye significativamente en las propiedades dieléctricas, especialmente el contenido de agua, proteínas, minerales y grasas; los cuales aportan ciertas contribuciones a los espectros (Gomez Sanchez, 2016). Por ejemplo, a mayor cantidad de humedad la constante dieléctrica se incrementa, debido a la presencia de sales disueltas, proteínas, ácidos nucleicos y otras moléculas presentes

en el músculo; por otro lado el factor de pérdidas disminuye cuando el contenido de humedad es menor (Castro, 2010).

2.2.11.4. Estructura del músculo. El músculo esquelético posee una estructura compleja y puede influenciar en las propiedades dieléctricas; este está conformado por fibras las cuales son equivalentes a una célula, presentando así núcleo, citoplasma (Sarcoplasma es la región conductora) y membrana celular (Sarcolema es la región no conductora) donde los iones se ven atrapados en las interfaces; al ser limitados los movimientos iónicos genera la acumulación de las cargas eléctricas y el aumentando la capacitancia global del músculo, lo que conlleva al aumento de la constante dieléctrica y el factor de pérdidas (Castro, 2010).

2.2.12. Técnicas de obtención de propiedades dieléctricas

Existen diferentes técnicas para determinar las propiedades dieléctricas de los alimentos, las cuales se aplican de acuerdo a la naturaleza física y eléctrica del alimento y el grado de exactitud que se desea alcanzar (Khaled et al., 2015). Dentro de estas técnicas tenemos: La de platos paralelos, Circuitos reactivos, sonda coaxial, líneas de trasmisión, cavidad resonadora, espacio libre, entre otros, los mismos que se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3*Técnicas de medición de las propiedades dieléctricas.*

Técnicas	Descripción	Materiales recomendados	Rango de frecuencia
Platos paralelos	La muestra se coloca entre dos electrodos para formar un capacitor	Material con facilidad de transformación	< 100 MHz
Circuitos Reactivos	La muestra es parte del aislador en un circuito reactivo	Cualquier material, menos gases	< 100 MHz
Sonda coaxial	La muestra entra en contacto con una sonda de terminación abierta	Líquidos y semisólidos	200 MHz – 20 GHz, incluso > 100 GHz
Líneas de transmisión	La muestra en forma de ladrillo llena la sección transversal de una línea de transmisión cerrada, causando un cambio de impedancia	Líquidos y sólidos	< 100 MHz
Cavidad Resonadora	La muestra es introducida en una cavidad que afecta la frecuencia central y el factor de calidad de la cavidad	Sólidos	1 MHz – 100 GHz
Espectroscopía en el dominio del tiempo	Pulsos cortos de radiación THz, se envían sobre el material. Esta técnica se basa en la absorción selectiva de frecuencias de estos pulsos electromagnéticos de amplio espectro	Homogéneos	10 MHz – 10 GHz

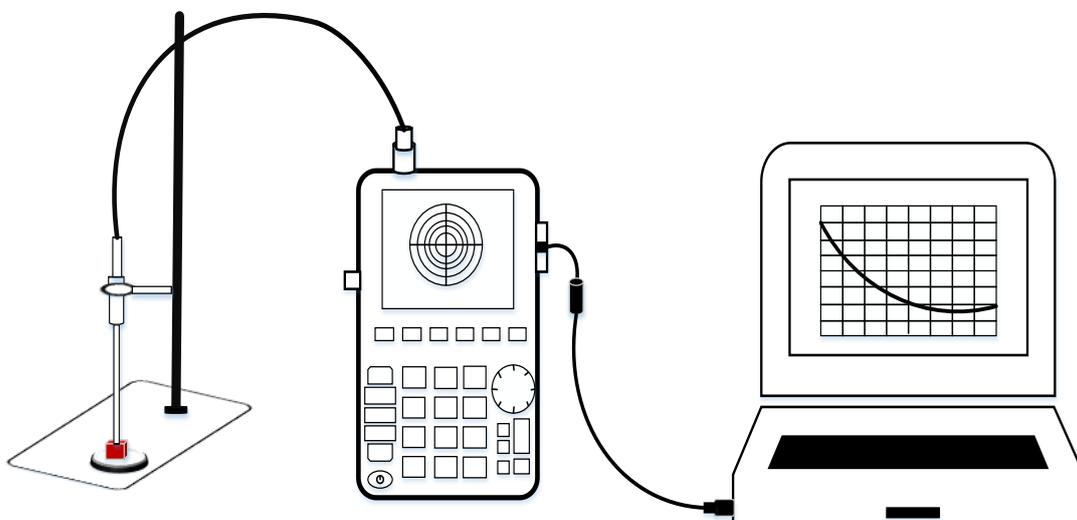
Nota. Datos tomados de Khaled et al. (2015).

2.2.12.1. Método de sonda coaxial. Este método se desarrolla utilizando un analizador de red vectorial, una sonda coaxial, una computadora externa y software, así como se

puede observar en la Figura 5; en algunos casos ya no se requiere una computadora debido a que el software se puede ejecutar en el mismo instrumento de red vectorial (Agilent Technologies, 2004). La sonda coaxial de terminación abierta es la que entra en contacto con la muestra y es la encargada de traducir los cambios de impedancia de cada muestra en el coeficiente de reflexión; el analizador de red es el que graba la información del coeficiente de reflexión del material y el software controla el analizador de red y guía al usuario a través de pasos sencillos de configuración y medición (Reyes, 2018).

Figura 5

Sistema ensamblado del Analizador de redes vectoriales



Asimismo, este método abarca un amplio rango de frecuencia que puede variar de 200 MHz a 20 GHz; puede ser utilizado en muestras líquidas, semisólidas y sólidas con superficies planas. Para la obtención de las propiedades dieléctricas de alimentos en estado líquido o semi-sólidos, es necesario que la sonda se sumerja en el centro de la muestra y para los alimentos en estado sólido es necesario que la sonda entre en contacto directo con la superficie del material (Nieto, 2010), evidenciándose lo mencionado en la Figura 6.

Figura 6

Toma de data con la sonda coaxial según el tipo de muestra

**2.3. Aplicación de la espectroscopia dieléctrica en carnes**

La espectroscopia dieléctrica es una técnica que viene siendo muy utilizada en la industria cárnica, evidenciándose lo mencionado en la Tabla 4.

Tabla 4

Resumen de los estudios realizados con la técnica espectroscopia dieléctrica

Autor (Año)	Estudio
Traffano et al. (2020)	Nueva metodología para analizar las propiedades dieléctricas en rangos de radiofrecuencia y microondas en carne de pollo durante el tiempo post mortem
Traffano et al. (2018)	Innovador sistema fotónico en rango de radiofrecuencia y microondas para determinar la calidad de la carne de pollo
Traffano et al. (2015)	Estudio de la aplicación de la espectroscopia dieléctrica para predecir la actividad del agua de la carne de cerdo durante el proceso de secado
Rodríguez (2017)	Estudio de la espectroscopia dieléctrica para la medición del contenido de humedad en productos alimenticios (Pescado)
Ngadi et al. (2015)	Propiedades dieléctricas del músculo de cerdo
Castro, Dols et al. (2011)	Desarrollo de una técnica de espectroscopia dieléctrica para la determinación de marcadores bioquímicos clave de la calidad de la carne
Castro, Toldrá et al. (2011)	Mediciones dieléctricas de baja frecuencia para evaluar el grado de envejecimiento post mortem de la carne de cerdo
Castro, Concepción et al. (2010)	Aplicación de la espectroscopia dieléctrica de microondas para el control proceso de salado de carne de cerdo (<i>Longissimus dorsi</i>)
Castro, Botella et al. (2010)	Espectroscopía dieléctrica de baja frecuencia para determinar la calidad de la carne de cerdo.
Castro, Fito y Fito (2010)	Aplicación de espectroscopía dieléctrica de microondas para el control de la carne (<i>longissimus dorsi</i>) en el proceso de salazón.

Nota. Todos los estudios fueron realizados en carnes.

2.4. Definición de conceptos

2.4.1 *Átomo*

Es la unidad mínima de un elemento que puede intervenir en una reacción química (Raviolo, 2008).

2.4.2 *Calidad*

Es el conjunto de cualidades que debe cumplir un producto o servicio para satisfacer las necesidades y expectativas del consumidor (FAO, 2002).

2.4.3 *Coefficiente de determinación*

Es una medida estadística que mide el nivel de correlación de las variables independientes y dependientes (Torres Armas, 2013).

2.4.4 *Conductividad*

Es la habilidad que posee un material o sustancia para conducir calor o energía (Real Academia Española, 2014) .

2.4.5 *Dipolos*

Un dipolo es el arreglo de dos cargas puntuales de semejante magnitud y signo opuesto separados por una distancia fija y constante (Lacomba y Ruiz, 2004).

2.4.6 *Espectroscopía dieléctrica*

Es la técnica que describe el comportamiento de un sistema biológico al ser sometido a un campo eléctrico externo (Ponce, 2010).

2.4.7 *Glucólisis*

Es la reacción metabólica que convierte la glucosa en un compuesto químico llamado piruvato y/o lactato (Macías et al., 2018).

2.4.8 *Ion*

Son átomos que pueden tener carga positiva o negativa (Raviolo, 2008).

2.4.9 Modelización

Es el proceso de crear una base de datos a partir de la aplicación de ciertas técnicas formales (Cervantes Gomez, 2015).

2.4.10 Músculo

El músculo hace referencia a la estructura que permanece en el animal vivo (Gomez Sanchez, 2016).

CAPÍTULO III.

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

El presente estudio se desarrolló en el laboratorio del Instituto de Investigación del Mejoramiento Productivo de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, ubicada en el distrito de Chota, provincia de Chota, región Cajamarca.

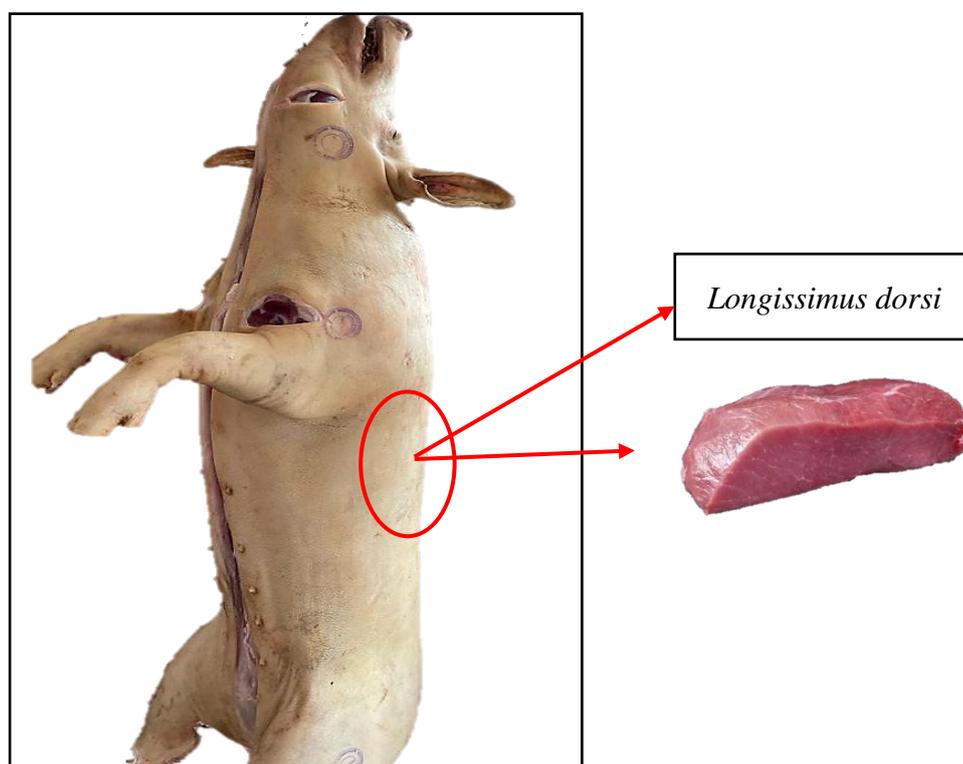
3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Estuvo conformada por los cerdos (machos y hembras) criollos de la granja “Doña Marina” del distrito de Lajas, los mismos que fueron sacrificados en el camal municipal del mismo distrito, con la finalidad de extraer la muestra de músculo “*Longissimus dorsi*”, ver Figura 7.

Figura 7

Ubicación del Músculo Longissimus dorsi en la carcasa de cerdo.



3.2.2. Muestra

Estuvo conformada por 80 músculos (*Longissimus dorsi*) de cerdos (machos y hembras) de la raza criolla de la granja “Doña Marina” del distrito de Lajas. Para la toma de muestra se seleccionaron 54 cerdos machos y 26 cerdos hembras con un peso promedio de 85 kg en un rango de edad de 5 a 12 meses, los cuales fueron sacrificados en el camal municipal del mismo distrito, obteniendo un 1 kg de músculo por cada cerdo para la realización de los análisis.

3.3. Equipos, materiales y/o insumos

A continuación, describimos los equipos, materiales e insumos utilizados durante la investigación, los mismos que se puntualizan en la tabla 5.

Tabla 5*Equipos, materiales e insumos*

EQUIPOS	
Analizador de redes vectoriales	N9915A / Keysight Technologies
Balanza analítica	Solis /aeADAM
Balanza de humedad	PMB 202/ aeADAM
Colorímetro	NR200/ 3NH Technology CO., LTD
Laptop	SN, PF1NQQCA/ Lenovo
PH-metro	VSTAR50 /Thermo Scientific
Refrigerador	GT39WPPDC /LG
Termómetro	---
MATERIALES	
De laboratorio	De oficina
Agua destilada	Papel A4 bond 80 gr
Mortero	Tajador
Placas Petri	Borrador
Vasos de precipitación	Cinta de embalaje
Pinzas	Cuaderno de apuntes
Cuchillo	Lapiceros
Tabla de picar	Lápiz
Bolsas de polietileno	Plumón de pizarra
Caja de Tecnopor	Plumón indeleble
Hilo de agua	
Guantes	
Papel absorbente	
INSUMOS	
Músculo de cerdo	

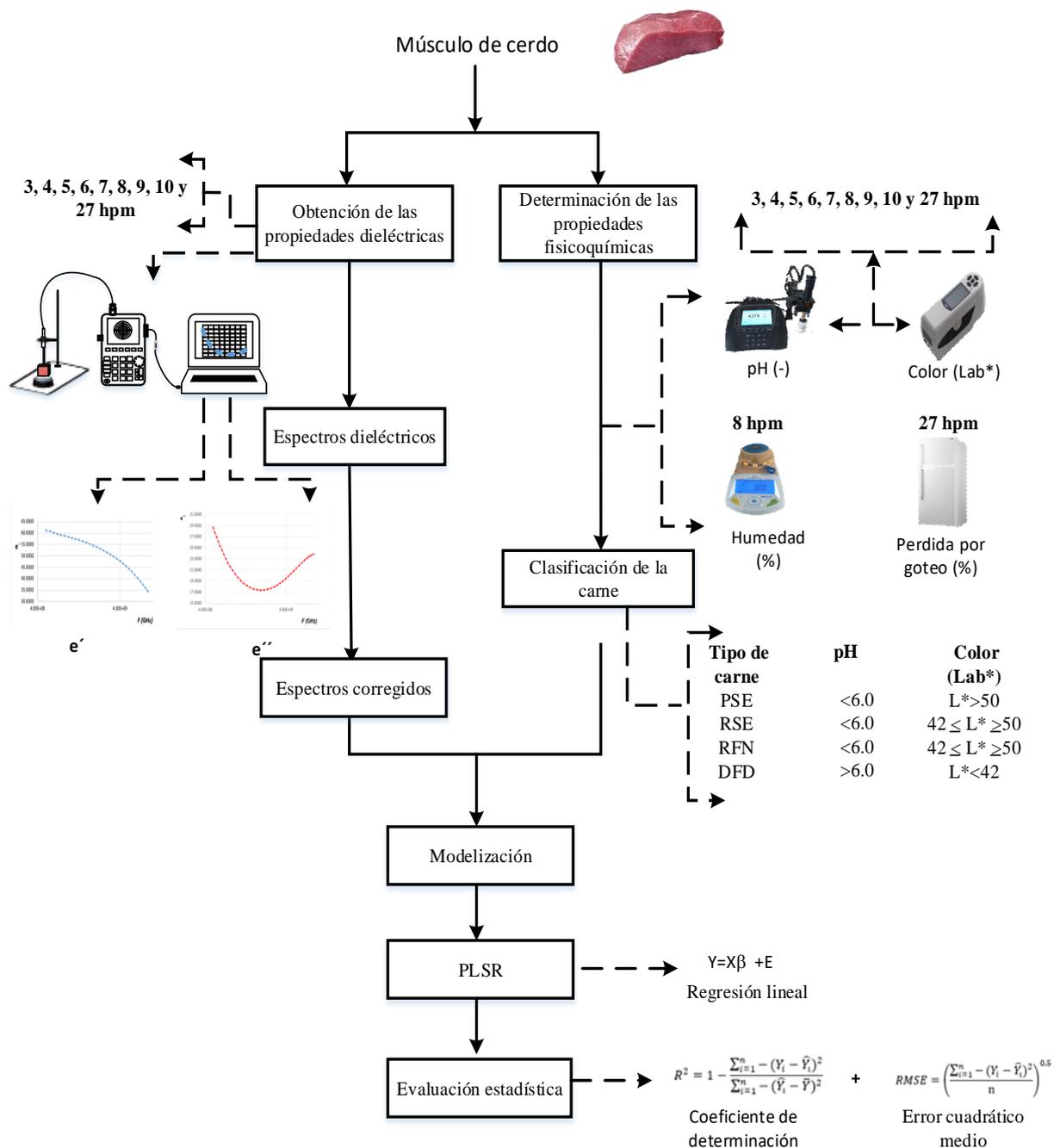
3.4. Metodología de la investigación

La presente investigación se llevó a cabo con 80 muestras de músculo de cerdo (*Longissimus dorsi*), los cuales fueron comprados de la granja “Doña Marina” en el distrito de Lajas 1 hora después del sacrificio, posteriormente dichas muestras fueron trasladadas en una

caja isotérmica con bloques de hielo, al laboratorio del Instituto de Investigación del Mejoramiento Productivo de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, con la finalidad de enfriar la muestra a 4 ± 1 °C y posterior análisis. Para la toma de datos fisicoquímicos y dieléctricos se siguió el siguiente diagrama experimental de la Figura 8.

Figura 8

Diagrama experimental de investigación



3.4.1. Caracterización fisicoquímica

Las propiedades fisicoquímicas de las muestras del músculo (*Longissimus dorsi*) hacia su transformación a carne fueron tomadas durante el periodo post mortem. En el caso del pH y el color se determinaron a las 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 27 hpm, esta última hora de análisis permitió realizar la clasificación de la carne de cerdo; adicionalmente se determinó la humedad y pérdida de agua por goteo a las 8 y 27 hpm respectivamente.

3.4.1.1. Determinación pH. Se utilizó un pH-metro de la marca Thermo Scientific, modelo VSTAR50. La medición se dio inicio con la calibración del equipo en tres soluciones buffer con pH de 4, 7 y 10 respectivamente a una temperatura de $4 \pm 0,1$ °C, con un ajuste de calibración de 99,6 %. Posterior a ello, se pesó 10 g de muestra los cuales fueron triturados en un mortero y homogeneizados con 90 ml de agua destilada. Para determinar el pH se introdujo el electrodo en la solución previamente preparada y por triplicado durante la 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 27 horas post mortem (Pérez y Ponce, 2013).

3.4.1.2. Determinación de color. Se utilizó un colorímetro de la marca 3NH Technology CO., LTD, modelo NR200. La calibración del equipo se llevó a cabo mediante la medición de los mosaicos blanco y negro. La medición del color se realizó colocando el lente del colorímetro sobre la muestra, obteniendo las coordenadas L*, a* y b* de las diferentes muestras a 4 ± 1 °C y por triplicado durante la 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 27 horas post mortem (Castro, 2010).

3.4.1.3. Determinación de la humedad. Se utilizó una balanza de humedad de la marca aeADAM, modelo PMB 202. Para la medición se tomó 5 gramos de muestra a las 8 horas post mortem y se colocó en el plato de la balanza, se cerró y se sometió a una temperatura de 140 °C durante 30 minutos, posteriormente se tomó nota del porcentaje de humedad obtenido automáticamente por dicho equipo y por triplicado (León et al., 2017).

3.4.1.4. Determinación de pérdida de agua por goteo (Drip Loss). Se utilizó un refrigerador de la marca LG, modelo GT39WPPDC. A las 27 hpm se realizó el cortando de tres trozos de carne de cerdo de aproximadamente 100 g cada uno, los cuales fueron introducidos en bolsas de polietileno previamente pesadas, inmediatamente después fueron colocadas en un refrigerador a 4°C por 72 horas. Las bolsas se mantuvieron suspendidas y totalmente cerradas para evitar pérdidas por evaporación; asimismo se evitó que las muestras entren en contacto con la bolsa para evitar el exudado por presión; posterior a ello, las muestras fueron sacadas del refrigerador y pesadas por separado (carne y bolsa), para finalmente calcular el porcentaje de exudado a través de la siguiente Ecuación 3 (Castro, 2010).

$$\% \text{ exudado} = \frac{\text{peso de la bolsa con exudado} - \text{peso de la bolsa}}{\text{peso inicial de muestra}} \times 100 \quad (3)$$

3.4.2. Obtención de las propiedades dieléctricas

Las propiedades dieléctricas (Constante dieléctrica y factor de pérdidas) fueron adquiridas en el rango de microondas a una frecuencia de 0.5 GHz a 9 GHz, mediante una sonda coaxial de terminación abierta (N1501A-001) conectado a un analizador de redes vectoriales keysight N9915A.

Para medir las propiedades dieléctricas la sonda fue fijada a un soporte universal de acero inoxidable, para evitar posibles cambios de fase debido al movimiento del cable; posteriormente se realizó la calibración del equipo utilizando tres tipos de cargas: aire, cortocircuito y agua destilada a 4 °C antes de cada experimento. Una vez calibrado el equipo se procedió a medir las propiedades dieléctricas del agua destilada, para comprobar la idoneidad de la calibración y así garantizar que esta sea estable.

Las propiedades dieléctricas se midieron por triplicado colocando la sonda coaxial sobre la superficie de la muestra en dirección a la fibra durante la 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 27 horas post mortem.

3.4.3. Clasificación de la calidad de la carne de cerdo

Luego de la obtención de las propiedades fisicoquímicas y dieléctricas a las 27 hpm, se procedió a la clasificación de los tipos de calidad de la carne de cerdo según los parámetros establecidos por Torres et al. (2018), observar Tabla 6. Cabe mencionar que para la clasificación de la carne solo se necesitó el pH y el Color (L^*), el Drip Loss se consideró como un parámetro adicional para la clasificación, estando acorde con los trabajos de investigación de (Castro, Fito, Toldrá et al., 2010; Qiao et al., 2007; Torres et al., 2018).

Tabla 6

Clasificación de carne basada en pH, color (L^) y pérdida por goteo (DL)*

Tipo de carne	pH	Color (L^*)	Drip Loss ^a
PSE	< 6,0	$L^* > 50$	>5%
RSE	< 6,0	$42 \leq L^* \leq 50$	>5%
RFN	< 6,0	$42 \leq L^* \leq 50$	<5%
DFD	$\geq 6,0$	$L^* < 42$	<5%

^a: Parámetro adicional para clasificación.

Nota. Datos tomados de Torres et al. (2018)

3.4.4. Análisis estadístico

Previo al análisis estadístico del modelamiento de la predicción de calidad durante la conversión de músculo a carne, se construyeron matrices de datos en formato *.xlsx de MS Excel según el tipo de carne, tal y como se muestra en la Figura 9. Cada matriz de datos estuvo constituida por cada espectro de e' y e'' con su respectivo valor de referencia fisicoquímica.

Seguidamente, se modificó el algoritmo propuesto por Chuquizuta et al. (2016) para el procesamiento de datos, llevándose a cabo en el software Matlab 2021b.

Figura 9

Construcción de las matrices X y Y

Frecuencia

Muestra	Sexo	Muestra	Repetición	Hpm	X = Valor de intensidad															Y = Valores de las propiedades fisicoquímicas					
					8.77E+09	8.79E+09	8.81E+09	8.83E+09	8.85E+09	8.87E+09	8.89E+09	8.92E+09	8.94E+09	8.96E+09	8.98E+09	9.00E+09	pH	L*	a*	b*	H%	Tripp Loss			
1	H	1	1	3	38.7272	38.746	38.5747	38.461	38.5438	38.5459	38.3418	38.2826	38.3939	38.3215	38.1382	38.0768	6.46	41.84	10.57	8.26	68.79	0.32			
			2	3	38.3951	38.4027	38.2135	38.0974	38.2319	38.229	37.9848	37.9287	38.111	37.9986	37.7843	37.7423	6.46	41.84	11.09	7.35	72.49	1.70			
			3	3	38.3616	38.3756	38.1646	38.0644	38.1908	38.1832	37.9332	37.8917	38.0348	37.9745	37.7338	37.6946	6.46	43.74	15.65	9.66	70.40	0.56			
		2	1	3	39.8431	39.8866	39.7926	39.6393	39.6678	39.6891	39.5443	39.465	39.4683	39.431	39.3269	39.2466	6.67	41.71	16.92	9.93	70.15	0.46			
			2	3	41.5937	41.5975	41.4471	41.3401	41.3984	41.4033	41.1982	41.1477	41.2271	41.1392	40.9803	40.9337	6.66	41.12	14.71	9.15	70.23	1.30			
			3	3	41.5893	41.5741	41.432	41.3108	41.3778	41.3759	41.2006	41.1403	41.2185	41.1548	40.9634	40.9172	6.65	40.37	12.44	7.88	68.39	0.80			
	M	3	1	3	34.4328	34.3272	34.1917	34.1855	34.2505	34.1196	33.9884	34.0149	34.0907	33.9489	33.7643	33.783	6.65	42.71	16.92	9.93	73.29	1.26			
			2	3	33.1225	33.0095	32.8565	32.8675	32.9441	32.8282	32.6541	32.7108	32.8057	32.6611	32.4459	32.4718						1.11			
			3	3	33.0242	32.9237	32.7391	32.7597	32.8627	32.7152	32.5455	32.5873	32.701	32.5783	32.3361	32.371						1.12			
		4	1	3	34.3532	34.2787	34.2041	34.1609	34.1113	34.0439	33.9635	33.9338	33.8914	33.8245	33.7169	33.6749						1.67			
			2	3	34.3828	34.2846	34.2093	34.1666	34.1458	34.0642	33.9613	33.95	33.8898	33.816	33.7253	33.6793						1.00			
			3	3	34.4404	34.3695									33.7892	33.7411						1.57			
	M	5	1	3	30.31	30.2449								29.7469	29.7275						1.31				
			2	3	30.131	30.0557									29.5565	29.5423						1.45			
			3	3	30.0837	30.0051									29.5046	29.4986						1.75			
		6	1	3	30.6293	30.562	30.5495	30.523	30.4634	30.3716	30.3097	30.3614	30.3287	30.2201	30.0963	30.125						1.85			
			2	3	29.7213	29.6432	29.6171	29.5911	29.5531	29.4592	29.3856	29.4247	29.4342	29.2862	29.1749	29.2235						1.94			
			3	3	29.6854	29.6302	29.5756	29.5649	29.5271	29.4387	29.3559	29.4012	29.4031	29.2817	29.1475	29.1826						1.04			
	H	7	1	3	30.1417	30.061	30.0105	29.9969	29.9909	29.8922	29.7934	29.8425	29.8753	29.74	29.5912	29.6364						1.53			
			2	3	29.7812	29.7049	29.6356	29.6439	29.6295	29.5127	29.4231	29.4814	29.5281	29.385	29.213	29.2678						1.71			
			3	3	29.696	29.6177	29.5464	29.5372	29.5481	29.4261	29.3288	29.3894	29.4384	29.312	29.1292	29.176						1.70			
		8	1	3	37.7685	37.7909	37.6813	37.5525	37.5642	37.6125	37.4721	37.3319	37.3526	37.4067	37.2689	37.1145	6.00	39.00	13.00	0.17	14.40				
			2	3	37.0971	37.1362	37.0105	36.8764	36.8983	36.9495	36.8002	36.6615	36.6775	36.7618	36.6108	36.4608	6.759	40.03	17.6	10.61	70.55	0.87			
			3	3	36.8792	36.906	36.7807	36.6401	36.6744	36.7261	36.5594	36.408	36.4646	36.5174	36.377	36.2077	6.756	40.28	10.52	10.52	67.41	1.37			
9	1	3	32.8535	32.8955	32.7206	32.5925	32.6629	32.6917	32.4928	32.3837	32.4629	32.442	32.2818	32.1592	5.899	42.39	7.54	4.43	67.23	4.22					
	2	3	32.9336	32.9604	32.7658	32.6563	32.7261	32.7494	32.5545	32.4417	32.5178	32.5333	32.3355	32.2166	5.895	42.25	10.86	6.96	65.09	3.72					
	3	3	32.8935	32.9071	32.7279	32.5999	32.6863	32.6708	32.5191	32.3888	32.4738	32.4818	32.3002	32.1755	5.892	41.47	12.11	5.95	69.65	3.33					

3.4.4.1. Modelización según PLSR.

a) Pre procesamiento de datos. Se utilizó un filtrado de segundo orden de Savitzky Golay, con 5 puntos, para los espectros dieléctricos de la constante dieléctrica (ϵ') y el factor de pérdidas (ϵ''), a fin de eliminar el ruido generado por los dispositivos electrónicos durante la toma de la data. Este filtro consiste en llevar a cabo un ajuste de mínimos cuadrados, de una base de datos continuos a un polinomio y tomar el punto central de la curva polinómica ajustada como un nuevo dato suavizado (Geesink et al., 2003; Pérez, 2014).

b) Modelización según PLSR. Para la modelización de los espectros dieléctricos y las características fisicoquímicas, se utilizó el modelo de regresión de mínimos cuadrados parciales, por sus siglas en inglés PLSR. Este modelo estadístico es popular en análisis

multivariadas, tiene por finalidad obtener un modelo lineal el cual permita predecir una variable de respuesta, Y , de un gran conjunto de variables X , así como se muestra en la Ecuación 4 (Andersen et al., 2021; Barbin et al., 2012; Chuquizuta et al., 2018; Dan et al., 2014; Khan et al., 2020; Marini, 2013; Yang et al., 2018).

$$Y = X\beta + E \quad (4)$$

Donde, X es una matriz de tamaño $(n \times m)$, n son los valores de intensidad en función a las horas post mortem y m los valores de intensidad en función a la frecuencia con respecto a la constante dieléctrica (ϵ'); Y es la información de referencia $(n \times 1)$ de las propiedades físico-químicas, β es el vector de coeficientes de regresión o llamados beta coeficientes $(m \times 1)$ y E , es el error del vector.

Sin embargo, la Ecuación 4 puede expresarse de la siguiente manera, así como se puede observar en la Ecuación 5:

$$Y = f(X) + E = Y^{\wedge} + E \quad (5)$$

Donde, $f(X)$ indica la relación matemática general y E es la matriz que recoge residuos (error), es decir la diferencia de las variables verdaderas (Y) y las predichas (Y^{\wedge}) por el modelo.

Entonces podemos decir que el Y^{\wedge} es igual a la Ecuación 6:

$$Y^{\wedge} = X\beta = f(X) \quad (6)$$

Entonces matemáticamente la Ecuación 6 será igual a la Ecuación 7

$$Y^{\wedge} = \beta_0 \pm \beta_1 X_1 \pm \beta_2 X_2 \pm \beta_3 X_3 \dots \pm \beta_n X_n \quad (7)$$

La obtención de los beta coeficientes se obtiene a partir de la Ecuación 8.

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (8)$$

Donde, X^T es la matriz traspuesta de X .

c) Evaluación de los modelos. Para evaluar el rendimiento del modelo de predicción se utilizó: El coeficiente de determinación (R^2) y la raíz de la sumatoria del error cuadrático medio (Ecuación 9 y 10).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2} \quad (9)$$

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n} \right)^{0.5} \quad (10)$$

Donde \hat{Y}_i e Y_i son los valores predichos y de referencia de una muestra (i); \bar{Y} es la media de valores de referencia de todas las muestras (Andersen et al., 2021; Khan et al., 2020; Yang et al., 2018; Zhao et al., 2016).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Características fisicoquímicas de la transformación de músculo a carne

En la Tabla 7 y 8, se presentan las propiedades fisicoquímicas (pH, color, humedad y pérdida por goteo) de las muestras RFN y DFD de cerdos machos y hembras, durante la transformación de músculo a carne; donde se observa una disminución de pH desde las 3 hpm hasta las 27 hpm en ambos tipos de carne, obteniéndose valores de 6,21 a 5,71 para cerdos machos y de 6,20 a 5,71 para cerdos hembras en las muestras RFN; y valores de 6,55 a 6,18 para cerdos machos y de 6,58 a 6,15 para cerdos hembras en las muestras DFD. Asimismo, se observa un incremento del color en la coordenada L* de 41,08 a 43,39 para cerdos machos y de 41,03 a 43,86 para cerdos hembras en las muestras RFN desde las 3 hpm hasta las 27 hpm; en el caso de las muestras DFD se evidenciaron un aumento de L* para los cerdos machos alcanzando valores de 41,29 a 41,39 y una disminución en el caso de los cerdos hembras que alcanzaron valores de 40,19 a 40,00; Por otro lado, con respecto a la coordenada a* se observó un incremento de 14,28 a 14,70 para cerdos machos y de 12,97 a 13,62 para cerdos hembras en las muestras RFN; asimismo las muestras DFD presentaron un incremento de 13,87 a 14,83 para cerdos machos y una disminución de 15,15 a 14,97 para cerdos hembras. En las muestras RFN, la coordenada b* se incrementó desde 8,20 a 9,83 para cerdos machos y desde 7,99 a 8,95 para cerdos hembras en y en las muestras DFD se incrementó de 8,03 a 9,19 para cerdos machos y desde 8,90 a 9,83 para cerdos hembras. Con respecto al contenido de humedad se obtuvo valores de 68,85 a 69,57 y de 68,38 a 69,72 para las muestras RFN y DFD, respectivamente; asimismo, la pérdida por goteo presentó valores entre 1,49 a 1,68 en las muestras RFN y entre 1,04 a 1,55 en las muestras DFD.

Tabla 7

Propiedades fisicoquímicas de las muestras RFN y DFD durante la transformación de músculo

TIPO DE CARNE	HORA POST MORTEM	PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS					
		pH	L*	COLOR		HUMEDAD (%)	DRIP LOSS (%)
				a*	b*		
RFN	3	6,21 ± 0,15	41,08 ± 1,57	14,28 ± 2,66	8,20 ± 1,38	-	-
	4	6,14 ± 0,14	42,21 ± 1,57	14,41 ± 3,15	8,34 ± 1,36	-	-
	5	6,07 ± 0,13	43,24 ± 1,62	14,12 ± 2,98	8,10 ± 1,29	-	-
	6	6,02 ± 0,14	44,34 ± 1,69	14,37 ± 3,22	8,64 ± 1,87	-	-
	7	5,96 ± 0,13	45,32 ± 1,82	14,36 ± 3,05	8,79 ± 1,60	-	-
	8	5,90 ± 0,13	46,49 ± 1,85	14,77 ± 3,00	9,44 ± 1,62	69,57 ± 1,80	-
	9	5,86 ± 0,13	46,93 ± 3,39	14,42 ± 3,00	9,47 ± 1,79	-	-
	10	5,78 ± 0,12	48,71 ± 1,84	14,51 ± 1,46	9,80 ± 1,46	-	-
	27	5,71 ± 0,09	43,39 ± 0,78	14,70 ± 2,72	9,85 ± 2,04	-	1,68 ± 1,01
DFD	3	6,55 ± 0,14	41,29 ± 1,40	13,87 ± 3,44	8,03 ± 1,40	-	-
	4	6,48 ± 0,11	42,55 ± 1,33	14,12 ± 3,43	8,48 ± 1,22	-	-
	5	6,42 ± 0,11	43,53 ± 1,32	13,84 ± 3,57	8,27 ± 1,35	-	-
	6	6,38 ± 0,12	44,45 ± 1,43	13,94 ± 3,64	8,58 ± 1,56	-	-
	7	6,34 ± 0,11	45,53 ± 1,63	13,20 ± 3,45	8,24 ± 1,56	-	-
	8	6,29 ± 0,11	46,50 ± 1,49	13,78 ± 3,46	8,51 ± 1,77	68,38 ± 4,34	-
	9	6,26 ± 0,10	47,54 ± 1,41	13,43 ± 3,97	8,69 ± 2,41	-	-
	10	6,21 ± 0,10	48,81 ± 1,56	13,70 ± 3,49	9,09 ± 2,33	-	-
27	6,18 ± 0,08	41,39 ± 2,63	14,83 ± 2,92	9,19 ± 1,47	-	1,55 ± 0,94	

Nota. Los resultados son específicamente de cerdos machos.

Tabla 8

Propiedades fisicoquímicas de las muestras RFN y DFD durante la transformación de músculo

TIPO DE CARNE	HORA POST MORTEM	PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS					
		COLOR				HUMEDAD (%)	DRIP LOSS (%)
		pH	L*	a*	b*		
RFN	3	6,20 ± 0,23	41,03 ± 2,74	12,97 ± 2,59	7,79 ± 1,04	-	-
	4	6,11 ± 0,24	42,10 ± 2,57	13,88 ± 2,65	7,99 ± 1,21	-	-
	5	6,03 ± 0,21	43,16 ± 2,63	13,91 ± 2,42	8,08 ± 1,03	-	-
	6	5,93 ± 0,16	44,32 ± 2,65	14,26 ± 2,08	8,46 ± 0,98	-	-
	7	5,91 ± 0,16	45,43 ± 2,71	15,17 ± 1,72	9,14 ± 0,96	-	-
	8	5,85 ± 0,15	46,31 ± 2,57	14,13 ± 3,05	9,15 ± 1,35	68,85 ± 1,22	-
	9	5,80 ± 0,16	46,67 ± 3,09	14,30 ± 2,71	9,26 ± 1,18	-	-
	10	5,75 ± 0,14	48,65 ± 2,77	13,88 ± 2,38	9,25 ± 1,05	-	-
	27	5,71 ± 0,20	43,86 ± 1,46	13,62 ± 2,70	8,95 ± 1,11	-	1,49 ± 0,92
DFD	3	6,58 ± 0,16	40,19 ± 1,57	15,15 ± 2,52	8,90 ± 1,14	-	-
	4	6,49 ± 0,12	41,50 ± 1,25	15,46 ± 2,62	8,93 ± 1,22	-	-
	5	6,41 ± 0,15	42,26 ± 0,99	15,40 ± 2,66	9,16 ± 1,39	-	-
	6	6,35 ± 0,14	43,08 ± 1,30	15,46 ± 2,24	9,18 ± 1,47	-	-
	7	6,31 ± 0,14	43,96 ± 1,46	15,41 ± 2,84	9,39 ± 1,67	-	-
	8	6,27 ± 0,12	45,08 ± 1,42	14,76 ± 2,91	9,02 ± 1,47	69,72 ± 1,86	-
	9	6,22 ± 0,10	45,82 ± 2,12	15,21 ± 2,72	9,55 ± 1,55	-	-
	10	6,16 ± 0,10	48,46 ± 2,36	15,05 ± 2,76	9,72 ± 1,99	-	-
	27	6,15 ± 0,08	40,10 ± 1,64	14,97 ± 1,84	9,83 ± 1,21	-	1,04 ± 0,39

Nota. Los resultados son específicamente de cerdos hembras.

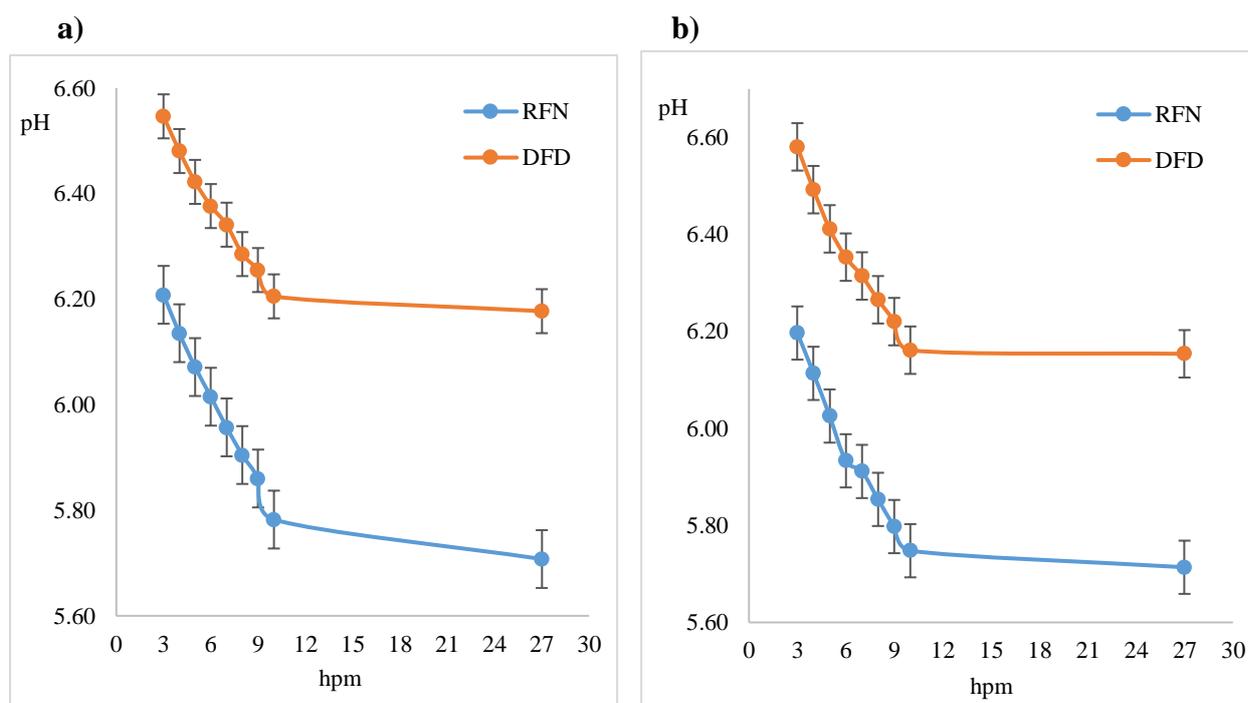
En la Figura 10 se presenta la evolución de pH de las muestras RFN y DFD, durante la conversión de músculo a carne. Las muestras RFN presentan un ligero descenso de pH de 6,21 a 5,71 y de 6,20 a 5,71 en cerdos machos y hembras respectivamente, hasta las 27 hpm, las mismas que se atribuyen a la degradación del glucógeno producto de la glucólisis, además de la producción de lactato y fosfato como consecuencia de la desnaturalización de proteínas sarcoplasmáticas y miofibrilares, este caso en particular persigue la ruta metabólica de las carnes PSE no logrando un pH muy bajo debido al grado de estrés que ha sufrido el animal antes de su beneficio (Bekele, 2014; Faucitano et al., 2010; Hernández, 2010; Traffano et al., 2018). Del mismo modo, nuestros resultados de la cinética de transformación de músculo a carne RFN, los mismos que se muestran en la Figura 10- a, son similares a los obtenidos por (Chmiel et al., 2014; Liu et al., 2021; Maganhini et al., 2007) cuyo descenso del pH fue de 6,10 a 5,52 para cerdos machos y a los de (Castro, Fito, Toldrá et al., 2010; Furtado et al., 2019; Qiao et al., 2007) cuyo descenso del pH fue de 5,99 a 5,5 para cerdos machos y cerdos hembras, durante las 24 hpm, sin embargo diversos autores describen que dicha diferencia se debe a factores intrínsecos como: Genética, raza, edad, sexo, peso y tipo de músculo; y a factores extrínsecos como: sistema de producción, condiciones climáticas, manejo antemorten y manejo post mortem (Castrillón et al., 2007; Montoya, 2014; Onega, 2003; Segarra et al., 2018; Timaure et al., 2020).

Para el caso de las carnes DFD, las muestras presentan un descenso leve del pH de 6,55 a 6,18 y de 6,58 a 6,15 para cerdos machos y hembras respectivamente, estas carnes presentan un pH alto debido a un proceso bioquímico anormal en la glucólisis, durante la transformación de músculo a carne, ocasionado por el estrés crónico prolongado en los animales durante ayuno, carga y descarga, transporte, reposo y aturdimiento (Timaure et al., 2020; Traffano et al., 2018); este estrés genera el agotamiento del glucógeno, la baja producción de ácido láctico, la baja desnaturalización de las proteínas y la elevada capacidad de retención de agua (Alarcón et al.,

2005; Alarcon et al., 2008; Castro, Fito, Toldrá et al., 2010; Jara, 2007). De la misma forma, nuestros resultados que se muestran en la Figura 10 – b, son similares a los reportados por Castro, Fito, Toldrá et al. (2010) cuyo descenso de pH fue de 6,22 a 5,90 en cerdos machos y hembras, y a los de Maganhini et al. (2007) quienes reportaron un pH de $5,80 \pm 0,16$, a las 24 hpm.

Figura 10

Evolución del pH de las muestras RFN y DFD durante la transformación de músculo a carne



Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

La cinética de color en las coordenadas L^* , a^* y b^* , de las muestras de cerdos machos y hembras durante la transformación de músculo a carne se muestran en las figuras 11, 12 y 13. En la obtención de carnes RFN, se ha observado que la coordenada L^* (luminosidad) aumenta gradualmente en cerdos machos de 41,08 a 48,71 y en cerdos hembras de 41,03 a 48,65 hasta las 10 hpm, y desciende hasta 43,39 en el caso de las muestras de cerdo machos y a 43,86 en cerdos hembras respectivamente a las 27 hpm; así como se puede observar en la Figura 11- a-b. Asimismo, se evidencian que nuestros resultados de L^* a las 27 hpm son

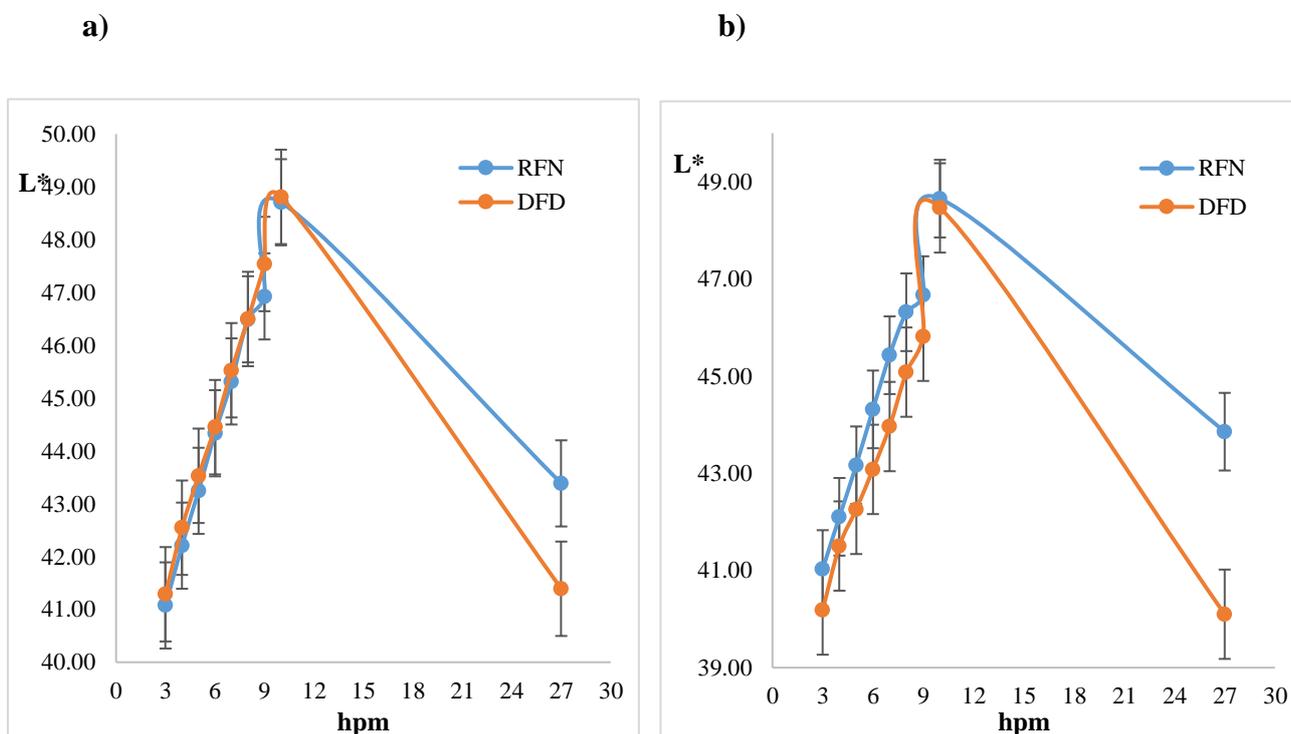
diferentes a los reportados por (Chmiel et al., 2014; Liu et al., 2021; Maganhini et al., 2007) quienes reportaron un L^* en el rango de 46,85 a 50,34 a las 24 hpm en cerdos machos y a los de Castro, Fito, Toldrá et al. (2010) quienes obtuvieron un $L^* = 51,8 \pm 1,8$ a las 24 hpm en cerdos machos y hembras. Según (Andújar et al., 2003; Bekele, 2014; Chmiel et al., 2014; Lascano Clavijo, 2021; Loayza, 2017) dichas diferencias se debe a la dispersión y absorción de la luz durante el muestreo, y al nivel de la mioglobina presente en el músculo, el cual puede variar según la raza, edad, sexo, castración, peso, alimentación, tipo de corte, tipo de músculo y temperatura. Por otro lado, la coordenada a^* (Rojo - verde) para las carnes RFN, presentan un ligero incremento entre 3 a 27 hpm de 14,28 a 14,70 y 12,97 a 13,62 para cerdos machos y hembras respectivamente, además la coordenada b^* (Amarillo - azul) muestra el mismo comportamiento de a^* de 8,90 a 9,85 y 7,79 a 8,95 para cerdos machos y hembras respectivamente, así como se evidencia en la Figura 12 y 13; resultados que son diferentes a los adquiridos por (Chmiel et al., 2014; Maganhini et al., 2007) quienes obtuvieron valores de 1,34 a 2,2 y de 7,93 a 10,8 en las coordenadas a^* y b^* en cerdos machos, durante las 24 hpm.

Para las muestras DFD, la coordenada L^* aumenta progresivamente en cerdos machos de 41,29 a 48,81 y cerdos hembras de 40,19 a 48,46 durante las 10 hpm, para luego descender a las 27 hpm hasta 41,39 y 40,10 respectivamente, coincidiendo nuestros resultados (Figura 11 a - b) con lo obtenido por (Faucitano, 2010; Maganhini et al., 2007) quienes obtuvieron valores L^* de 40,54 a 43,95 para cerdos machos a las 24 hpm, pero diferenciándose con los reportados por Castro, Fito, Toldrá et al. (2010) quien obtuvo un L^* de $49,4 \pm 0,2$ a las 24 hpm en cerdos machos y hembras. Asimismo, se puede observar que la coordenada a^* presenta un aumento leve en cerdos machos de 13,87 a 14,83 y ligera disminución cerdos hembras de 15,15 a 14,97 durante las 27 hpm véase Figura 12 a - b, al igual que coordenadas b^* presenta un aumento en cerdos machos de 8,03 a 9,19 y cerdos hembras de 8,90 a 9,83 durante las 27 hpm véase Figura 13 a - b, del mismo modo nuestros resultados son diferentes a los adquiridos por Maganhini et

al. (2007) quien obtuvo en cerdos machos valores de $1,17 \pm 0,74$ y $6,37 \pm 0,63$ en la coordenada a^* y b^* a las 24 hpm, estas diferencias se debe principalmente al aumento de la mioglobina por la edad avanzada y al estrés crónico prolongado, el cual genera la poca dispersión del oxígeno, reducción de glucógeno, pH alto, desnaturalización lenta de proteínas, baja dispersión de luz y contaminación bacteriana (Andújar et al., 2003; Bekele, 2014; Romero; Sánchez , 2012; Traffano, 2018).

Figura 11

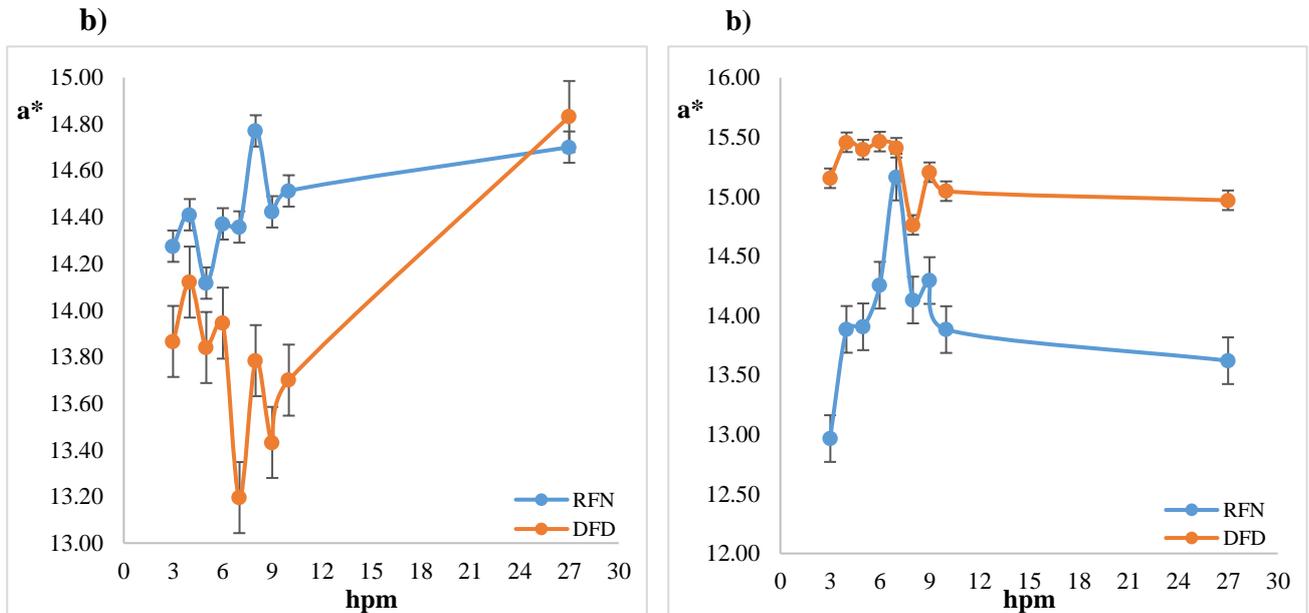
Evolución de la coordenada L^ de las muestras RFN y DFD, durante la transformación de músculo a carne*



Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

Figura 12

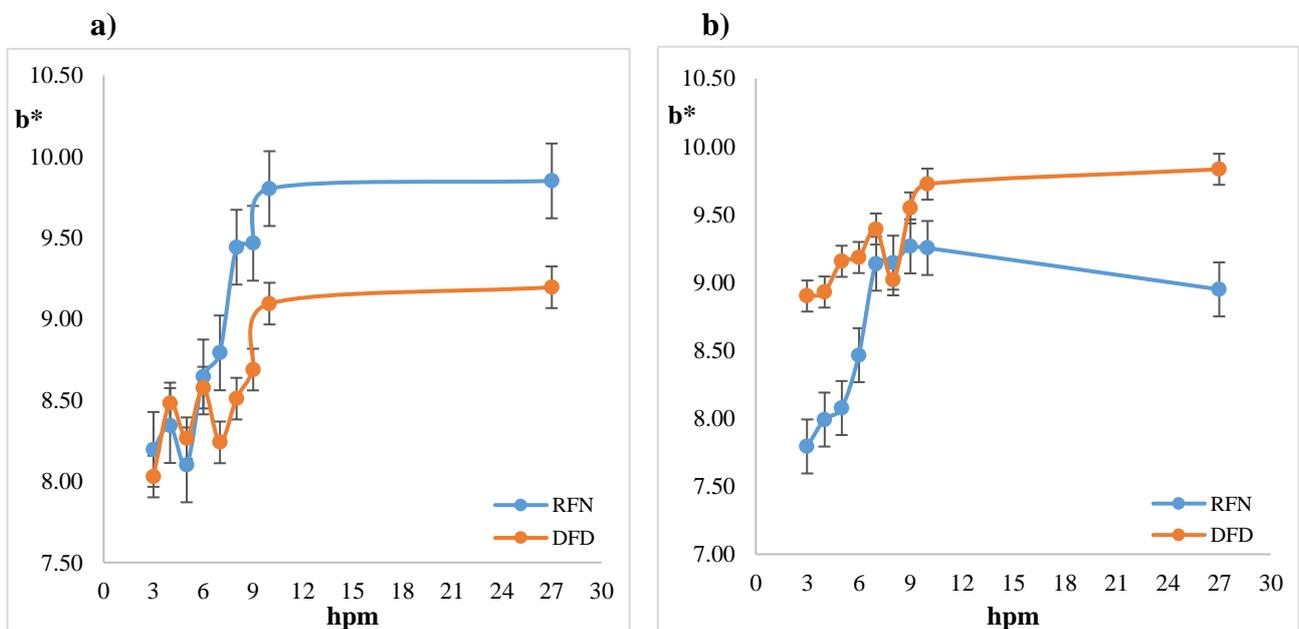
Evolución de la coordenada a de las muestras RFN y DFD, durante la transformación de músculo a carne*



Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

Figura 13

Evolución de la coordenada b de las muestras RFN y DFD, durante la transformación de músculo a carne*



Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

Para el caso de la humedad se observa que las muestras RFN machos y hembras presentan valores de $69,57 \pm 1,80$ y $68,85 \pm 1,22$ respectivamente, y las muestras DFD machos y hembras valores de $68,34 \pm 4,34$ y $69,72 \pm 1,86$ respectivamente, reportado en la Tabla 7 y 8. Los valores de humedad para las carnes RFN y DFD machos y hembras reportados en nuestra investigación fueron menores a los reportados por (Khan et al., 2020; León et al., 2017; Paredes et al., 2017) quienes obtuvieron valores en el rango de 71,58 a 74,95 en cerdos machos y hembras (no especifica tipo de carne); y menores a los alcanzados por Pedauyé et al. (1994) quienes obtuvieron valores de $74,3 \pm 2,2$ en muestras DFD y $74,7 \pm 1,67$ en muestras RFN, dichas diferencias se atribuye principalmente a la raza, la edad, el sexo, la alimentación y el tipo de músculo (Araneda, 2022; Horcada y Polvillo, 2010; Lascano Clavijo, 2021).

Para el caso de pérdida de agua por goteo (Drip loss) se ha observado que los valores de exudación se encuentran por debajo del 5% en ambos tipos de carnes de ambos sexos. Las muestras RFN presentaron valores de $1,68 \pm 1,01$ y $1,49 \pm 0,92$ en cerdos machos y hembras respectivamente, asimismo, las muestras DFD presentaron valores de $1,55 \pm 0,94$ en cerdos machos y $1,04 \pm 0,39$ en cerdos hembras, observándose en la Tabla 7 y 8. Los datos hallados en nuestra investigación presentan similitud a los conseguidos por Castro, Fito, Toldrá et al. (2010) quienes obtuvieron valores de $1,5 \pm 0,3$ en muestras DFD y $3,5 \pm 0,4$ en muestras RFN, pero diferentes a los adquiridos por Qiao et al. (2007) quienes obtuvieron valores de 5,31 en muestras RFN, la diferencia de nuestros resultados con respecto a los autores antes mencionados se debe principalmente a los procesos bioquímicos producidos en ambos tipos de carne, los cuales varían según la raza, la edad, el sexo, la alimentación, tipo de músculo, manejo y transporte, temperatura, tiempo de reposo, entre otros (Lascano Clavijo, 2021; Vasquez Puentes, 2020).

4.2. Clasificación de la carne de cerdo según sus parámetros fisicoquímicos.

En la Tabla 9, se observa la clasificación del tipo de carne para cerdos machos y hembras basado en los parámetros de pH, color (L^*) y drip loss a las 27 hpm, de los cuales se obtuvo: 0 muestras PSE, 0 muestras RSE, 33 muestras RFN y 47 muestras DFD, las cuales suman un total de 80 muestras. Los principales factores que conllevan a que no exista la presencia de carnes PSE y RSE es el factor genético (Gen Halotano) relacionado con el síndrome de estrés porcino (PSS) (Bekele, 2014); estrés agudo generado antes y/o durante el sacrificio (Loayza, 2017).

Tabla 9

Clasificación del tipo carne a las 27 hpm para cerdos machos y hembras, según pH y color (L^).*

TIPO DE CARNE	M	H	total
PSE	0	0	0
RSE	0	0	0
RFN	23	10	33
DFD	32	15	47
Total	55	25	80

4.3. Espectros dieléctricos durante la transformación de músculo a carne.

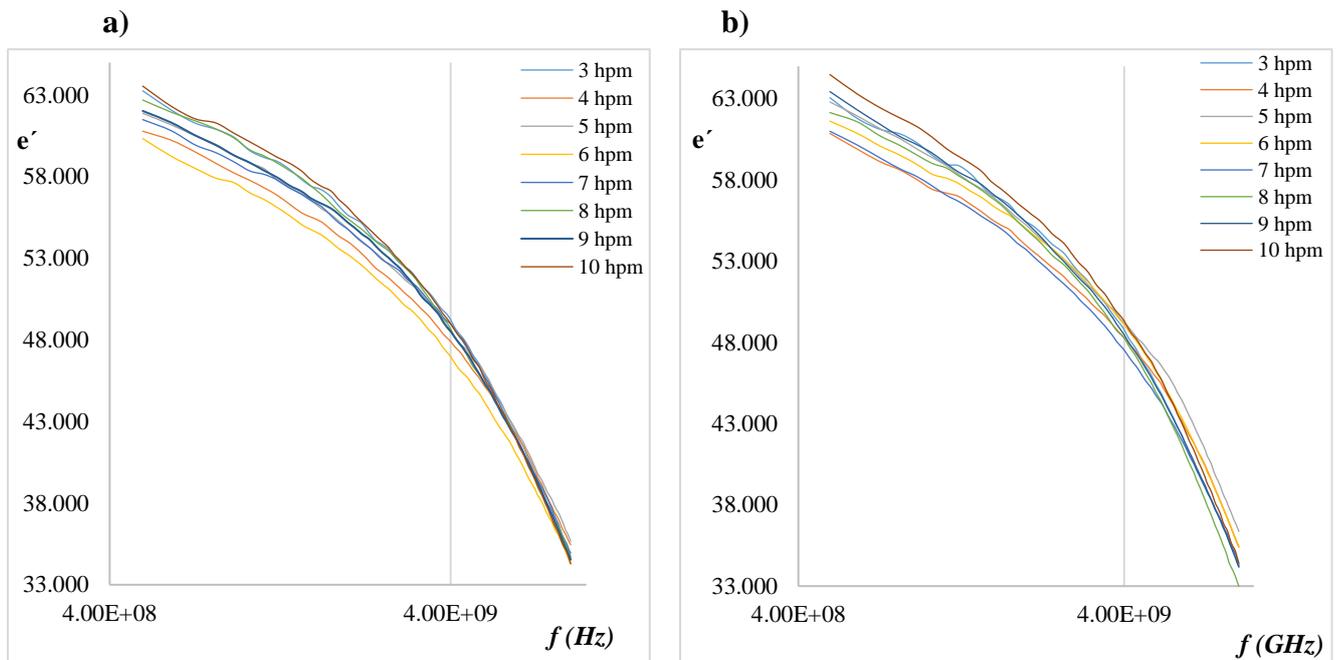
En la Figura 14 y 15 se observa los valores de la constante dieléctrica (ϵ') de las muestras RFN y DFD machos y las hembras, de 3 a 10 horas post mortem, las mismas que disminuyen al aumentar la frecuencia, siendo este comportamiento similar a los obtenidos por (Castro, Concepción et al., 2010). El comportamiento de los espectros de ϵ' de machos y hembras, es producto de los cambios bioquímicos y estructurales, que incluyen una serie de

procesos proteolíticos, electrolitos, oxidativos, entre otros (Castro, Concepción et al., 2010). Del mismo modo, se atribuyen los cambios antes mencionados a la acumulación de ácido láctico, el descenso de pH y la desnaturalización de las proteínas, provocando disminución de la capacidad de retención de agua, la liberación de iones (Mg^+ , Ca , K^+ , Cl , Na^+) y la formación de enlaces cruzados miosina-actina en las muestras (Castro, Concepción et al., 2010; Paredia et al., 2012); similar comportamiento bioquímico en la carne de pollo (Traffano et al., 2020).

En las muestras DFD el comportamiento de los espectros e' de cerdos machos y hembras, se debe a la baja disponibilidad de ATP, ácido láctico y fosfato de iones, la lenta disminución de pH, gran capacidad de retención de agua, desnaturalización de las proteínas y la degradación de la estructura muscular; los cuales afectan a la conductividad iónica y el fenómeno de relajación dipolar (Castro, Concepción et al., 2010; Traffano et al., 2018). Debido a la menor disponibilidad de glucosa y el limitado contenido de glucógeno la ruta de la glucólisis es limitada lo que genera que este tipo de carne tome fuentes alternativas de producción de energía como la degradación de aminoácidos principalmente la alanina y glicina, debido a estos procesos la e' es menor para muestras DFD a diferencia de las demás clases de calidad (Traffano et al., 2018).

Figura 14

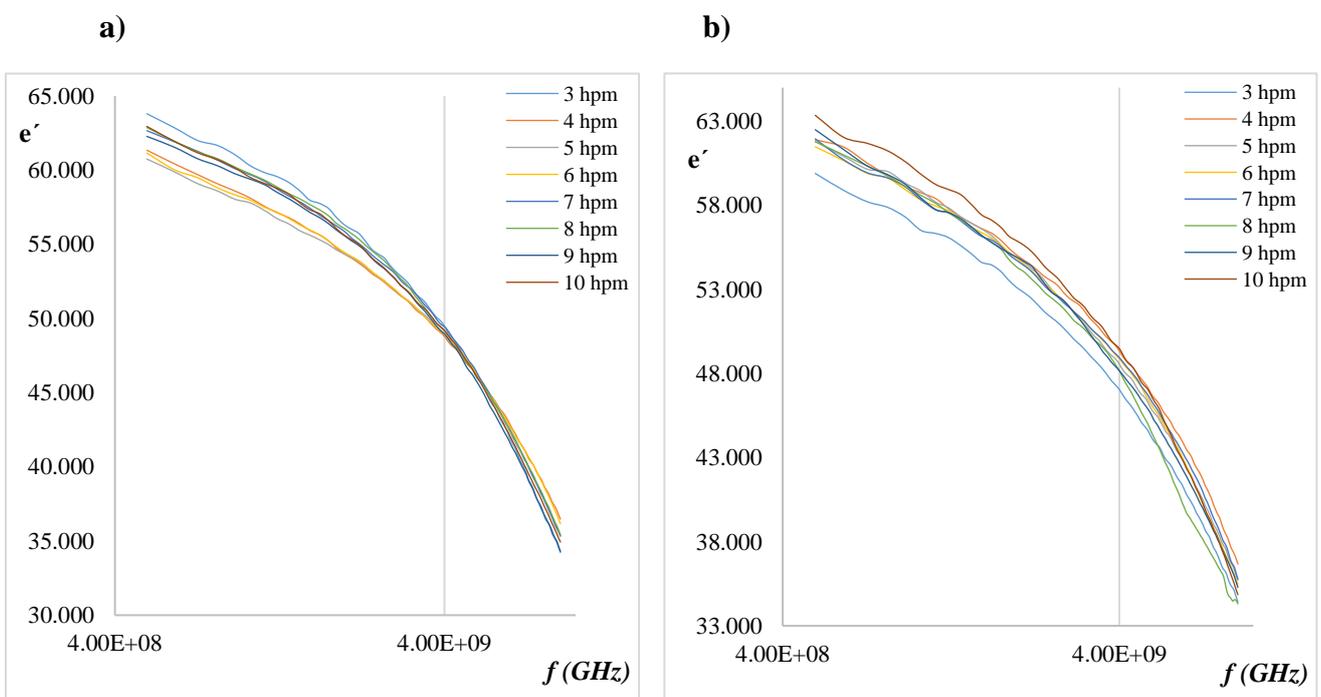
Evolución de la constante dieléctrica de muestras RFN, durante las 10 horas post mortem



Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

Figura 15

Evolución de la constante dieléctrica de muestras DFD, durante las 10 horas post mortem

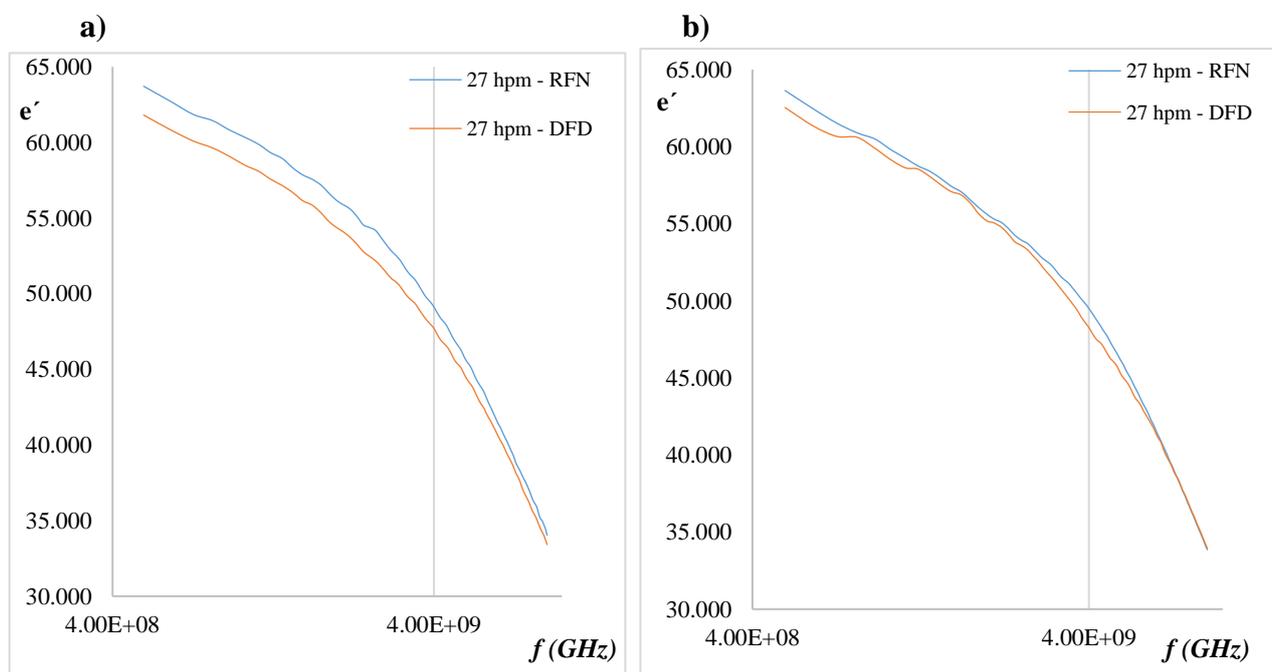


Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

En la Figura 16, se compara la constante dieléctrica de las carnes RFN y DFD a las 27 horas post mortem. En los machos, así como muestra en la Figura 16 – a, se observa que los valores de intensidad de la constante dieléctrica (ϵ') en las carnes RFN son mayores que las carnes DFD a lo largo de la frecuencia; del mismo modo, sucede para las hembras, así como se puede observar en la Figura 16 - b. Sin embargo, la diferencia de los valores de intensidad de ϵ' para las hembras entre las carnes RFN y DFD disminuye en el rango de 0.8 GHz a 3 GHz; esto se debe a que en las carnes DFD, el pH disminuye a las 24 horas posteriores al sacrificio, ocasionando que las proteínas no alcancen su punto isoeléctrico y que las moléculas de agua permanezca unidas a las proteínas (Castro, Concepción et al., 2010).

Figura 16

Constante dieléctrica de las muestras RFN y DFD, durante las 27 horas post mortem



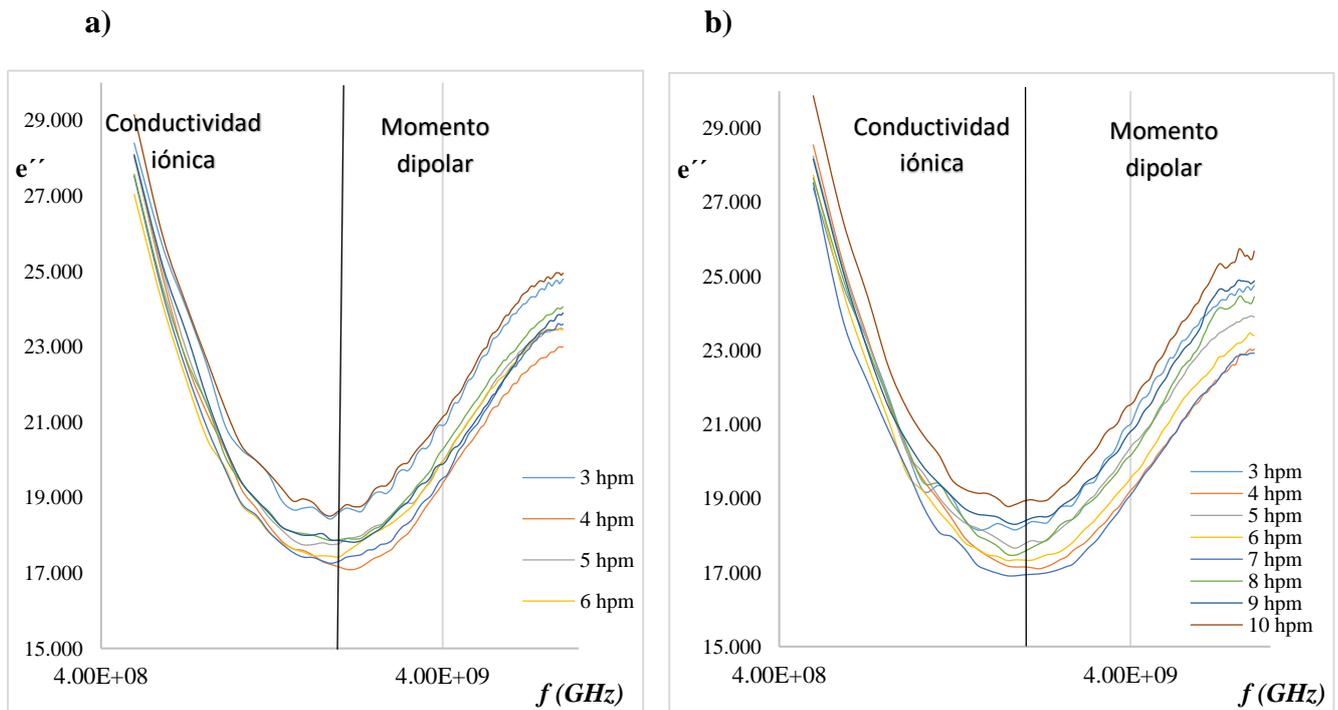
Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

En la Figura 17 y 18 se observan los valores de intensidad del factor de pérdidas (ϵ'') a lo largo del espectro electromagnético (0.5 – 9 GHz) de las muestras RFN y DFD de machos y hembras, de 3 a 10 horas post mortem, en ambas figuras los valores de intensidad ϵ''

disminuyen de 0.5 a 2 GHz y posterior aumentan hasta los 9 GHz, formando un espectro en forma de “U”. Esta forma de U se debe a que después del sacrificio las células musculares reducen la producción de nutrientes y oxígeno, lo que genera el incremento de la fuerza iónica y la presión osmótica desde la muerte del animal hasta el rigor mortis; cuando el pH se acerca a su punto isoeléctrico (pH cercano a 5,4) las proteínas empiezan a inhabilitarse y su capacidad para absorber cationes (Mg y Ca^{+2}) disminuye, aumentando así los iones libres en el sarcoplasma y la conductividad iónica (Castro, Concepción et al., 2010). Asimismo, los espectros dieléctricos formados a partir de los valores de intensidad de ϵ'' para las muestras de RFN, son semejantes a los reportados por Castro, Concepción et al. (2010) y manifestando que el comportamiento de los espectros ϵ'' en machos y hembras, se debe al agotamiento del ATP, descenso del pH, provocando la liberación de iones libres de las proteínas y el aumento de metabolitos, como lactato y nucleótidos (Castro, Concepción et al., 2010). En las muestras DFD el comportamiento de los valores de intensidad de los espectros ϵ'' se debe al bajo contenido de ácido láctico y al inicio tardío del rigor mortis a diferencia de los demás tipos de muestras (Castro, Concepción et al., 2010).

Figura 17

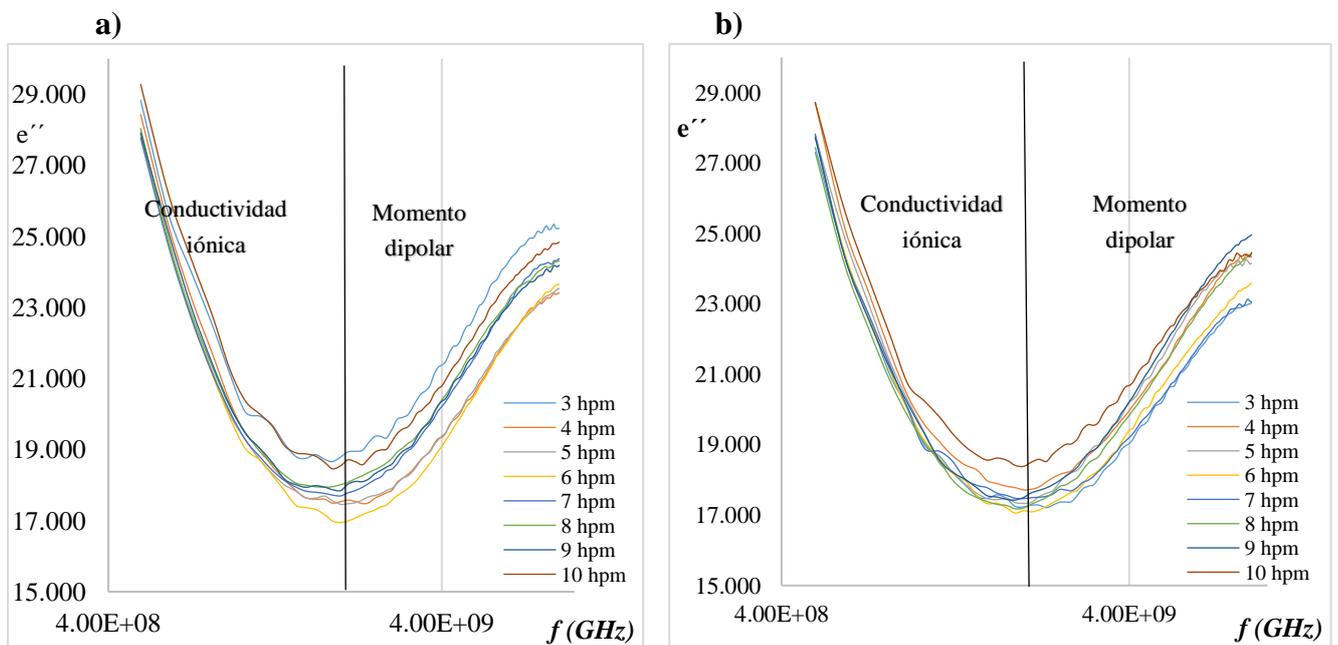
Evolución del factor de pérdida de las muestras RFN, durante las 10 horas post mortem



Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

Figura 18

Evolución del factor de pérdidas en las muestras DFD, durante las 10 horas post mortem

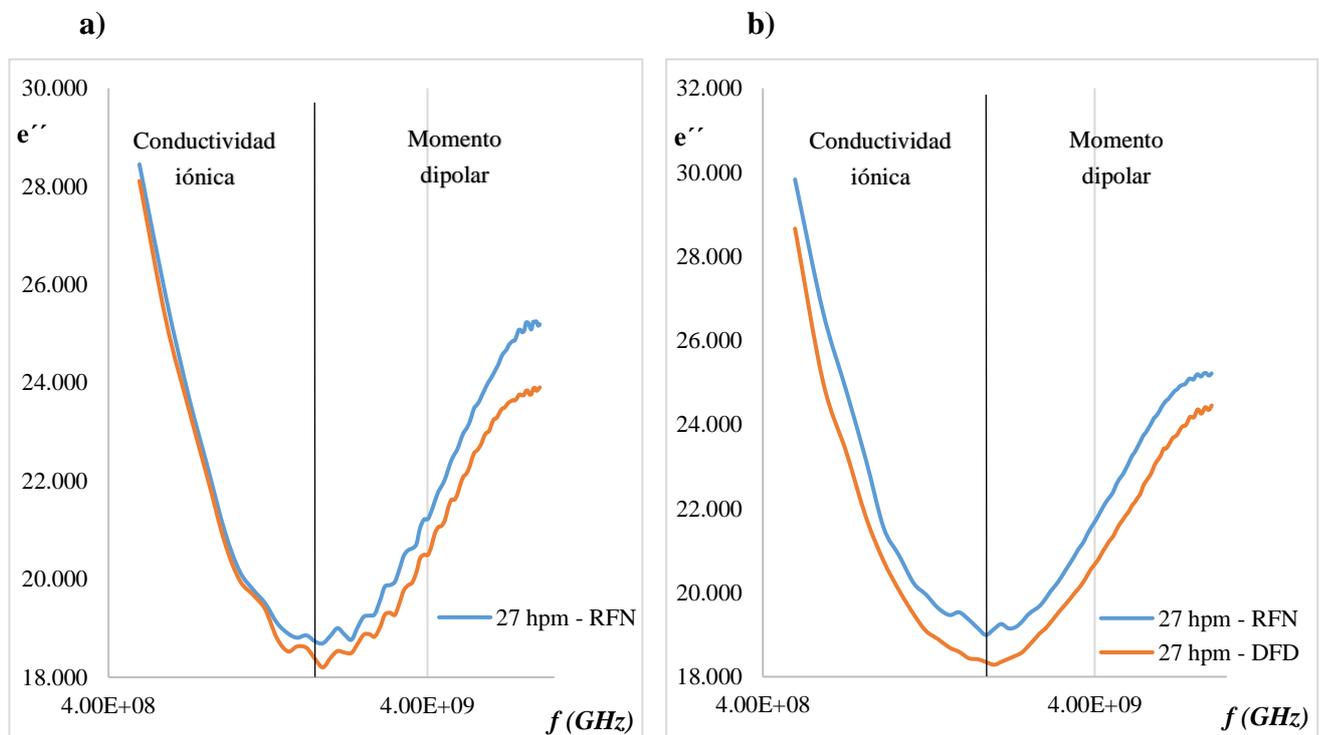


Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

En la Figura 19, se comparan los valores de intensidad del factor de pérdidas (ϵ'') de las carnes RFN y DFD machos y hembras, durante las 27 horas post mortem. En los cerdos machos, así como se observa en Figura 20 – a, se divisa que los espectros en ambos tipos de carne siguen una misma línea de tendencia, pero a medida que la frecuencia aumenta estas se separan y la carne DFD baja más que RFN; en cambio en los cerdos hembras, así como se puede ver en la Figura 20 – b, se observa que los valores de intensidad ϵ'' en las carnes RFN son mayores que las carnes DFD, esto se atribuye al inicio tardío del Rigor mortis y al bajo contenido de ácido láctico en las muestras DFD (Castro, Concepción et al., 2010).

Figura 19

Factor de pérdida de las muestras RFN y DFD, durante las 27 horas post mortem



Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

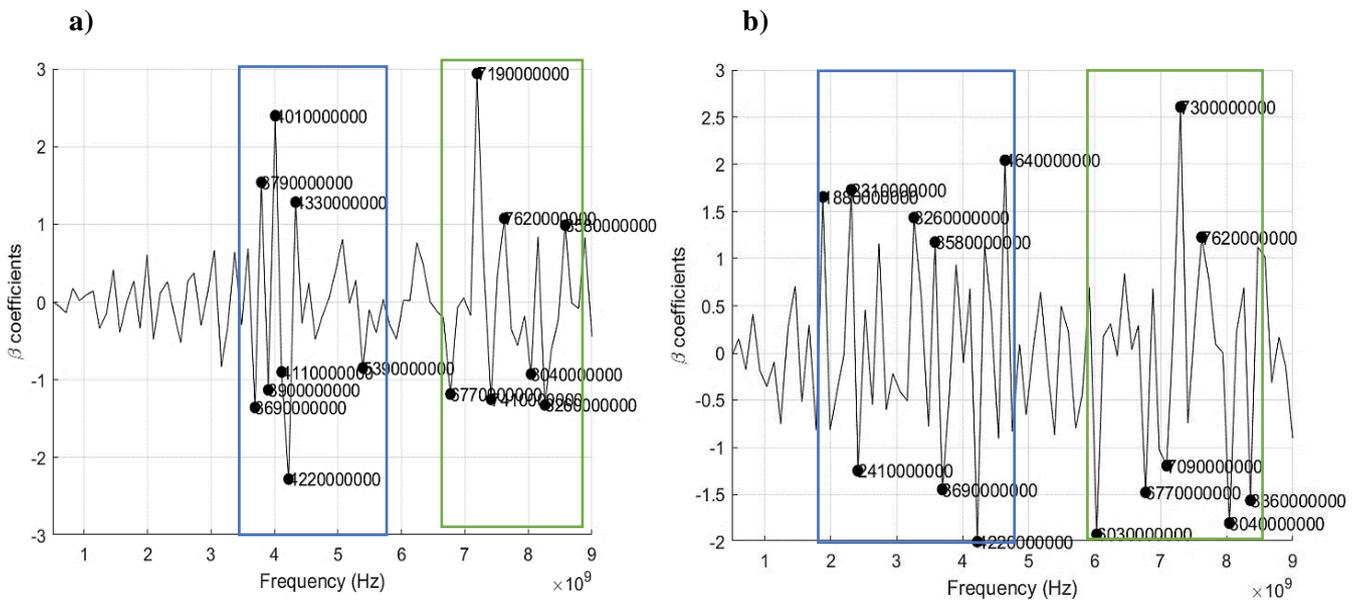
4.4. Predicción de los parámetros de calidad mediante espectroscopia dieléctrica.

4.4.1. Frecuencias relevantes para la optimización del modelo de predicción

El coeficiente β permite encontrar los valores absolutos más altos, los cuales miden el nivel de relación entre las variables X y Y (Zhao et al., 2016). En nuestra investigación se encontraron 15 frecuencias relevantes o puntuales de las 401 frecuencias a partir de los valores de intensidad de e' y e'' , en referencia a los datos del pH. En el caso de las muestras RFN se observa dos subgrupos de frecuencias relevantes en los rangos de 3,5 a 5,5 GHz y 6,8 a 8,5 GHz para cerdos machos y rangos de 2,0 a 4,8 GHz y 6,0 a 8,2 GHz para cerdos hembras (Figura 20 a - b); las muestras DFD también presentan dos subgrupos de frecuencias relevantes en los rangos de 1,5 a 6,0 GHz y de 7,2 a 8,9 GHz para cerdos machos y rangos de 2,1 a 4,2 GHz y de 5,5 a 8,7 GHz para cerdos hembras (Figura 21 a - b), a diferencia de los reportados por Andersen et al. (2018) obtuvieron 3 VR en el rango de 400 a 1850 nm, Andersen et al. (2021) quienes obtuvieron 5 variables relevantes (VR) en el rango de 830 a 1071 cm^{-1} y Balage et al. (2015) obtuvieron 105 VR en el rango de 390 a 1380 nm mediante la prueba de incertidumbre de Marters; Barbin et al. (2012) de 237 bandas ha encontrado 5 VR y Barbin et al. (2013) de 237 bandas obtuvo 14 VR en el rango 928 a 1645 nm y en el rango 947 a 1680 nm a través coeficiente de regresión ponderado, Geesink et al. (2003) encontraron dos sub grupos de VR en el rango de 1000 a 1860 nm y 2100 a 2450 nm a través de la correlación de dispersión multiplicativa (MSC), Qiao et al. (2007) de 80 espectros ha encontrado 6 VR en el rango de 494 a 978 nm a través del coeficiente de correlación simple. Las diferencias entre nuestra investigación y las otras se debe principalmente a los métodos de selección de variables relevantes y a la técnica de recaudación de datos; los cuales se realizaron mediante la espectroscopia de imágenes hiperespectrales, infrarrojo cercano, Raman, entre otras; las mismas que están en diferente rango del espectro electromagnético.

Figura 20

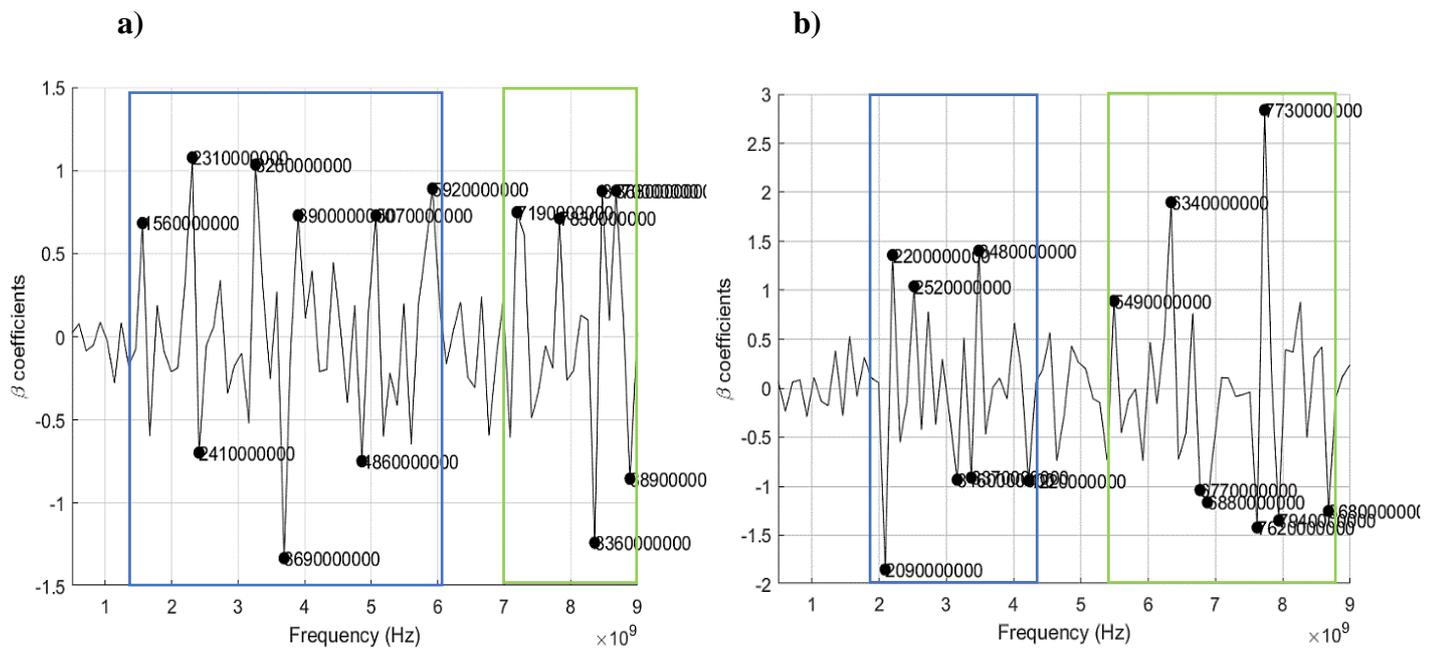
Coficiente β del pH de las muestras RFN



Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

Figura 21

Coficiente β del pH de las carnes DFD

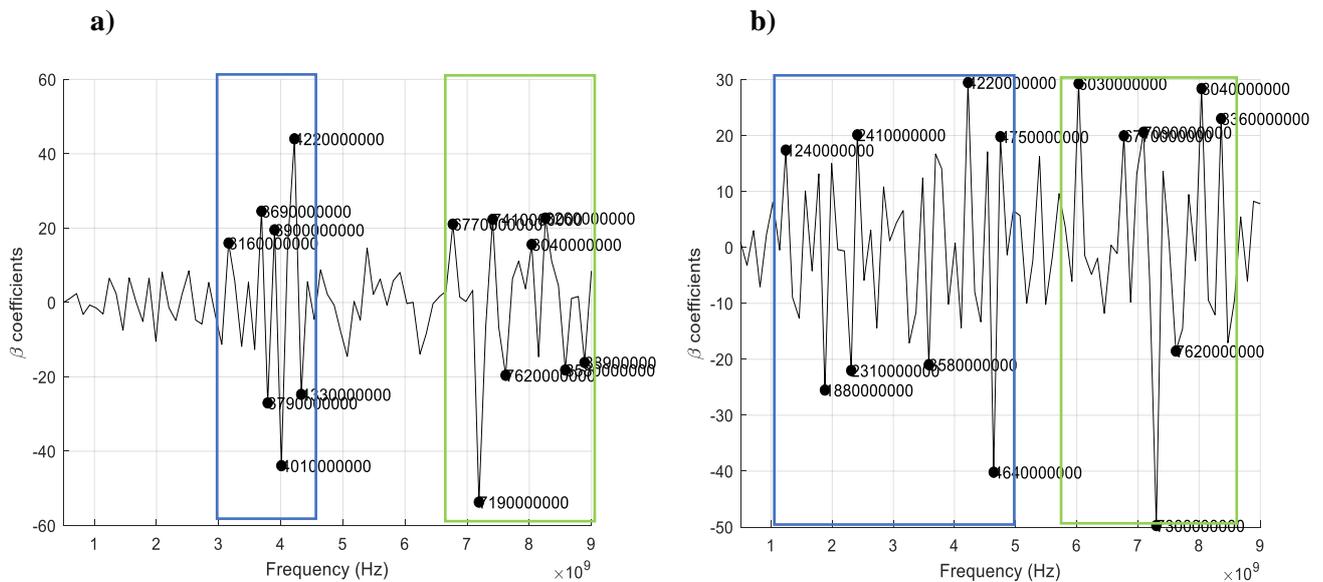


Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

En la Figura 22 y 23 se plasman las frecuencias más relevantes para la predicción de color (L^*), de las muestras RFN y DFD machos y hembras. Para el caso de las muestras RFN se observa 2 subgrupos con valores relevantes (VR) en los rangos de 3,2 a 4,3 GHz y 6,8 a 8,9 GHz para cerdos machos y rangos de 1,2 a 5,8 GHz y 6,0 a 8,5 GHz para cerdos hembras (Figura 22 a - b); de igual manera las muestras DFD presentan dos subgrupos de VR en los rangos de 1,4 a 6,0 GHz y 7,1 a 9,0 GHz para cerdos machos y rangos de 2,1 a 4,5 GHz y 6,3 a 8,0 GHz para cerdos hembras (Figura 23 a - b). En nuestra investigación se ha encontrado 15 frecuencias puntuales para la predicción de color, a diferencia de los conseguidos por Balage et al. (2015) quienes obtuvieron 63 VR en el rango de 405 a 1365 nm mediante la prueba de incertidumbre de Marters; Barbin et al. (2012) y Barbin et al. (2013) quienes obtuvieron 6 VR en el rango de 947 – 1654 nm y 14 VR en el rango de 928 a 1645 nm, respectivamente a través del coeficiente de regresión ponderado; Geesink et al. (2003) encontraron dos sub grupos de frecuencias importantes en el rango de 1000 a 1860 nm y 2100 a 2450 nm a través de la correlación de dispersión multiplicativa y Qiao et al. (2007) encontraron 6 VR en el rango de 434 a 703 nm a través del coeficiente de correlación simple.

Figura 22

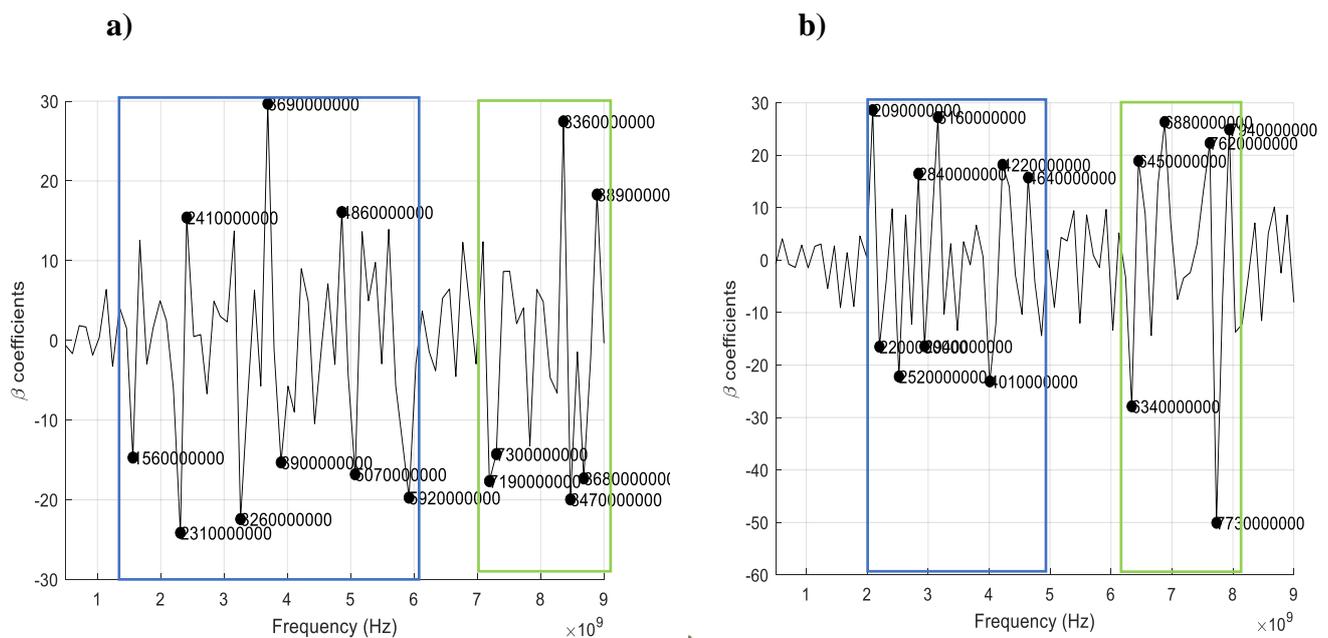
Coefficiente β del color L^ de las muestras RFN*



Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

Figura 23

Coefficiente β del color L^ de las muestras DFD*



Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

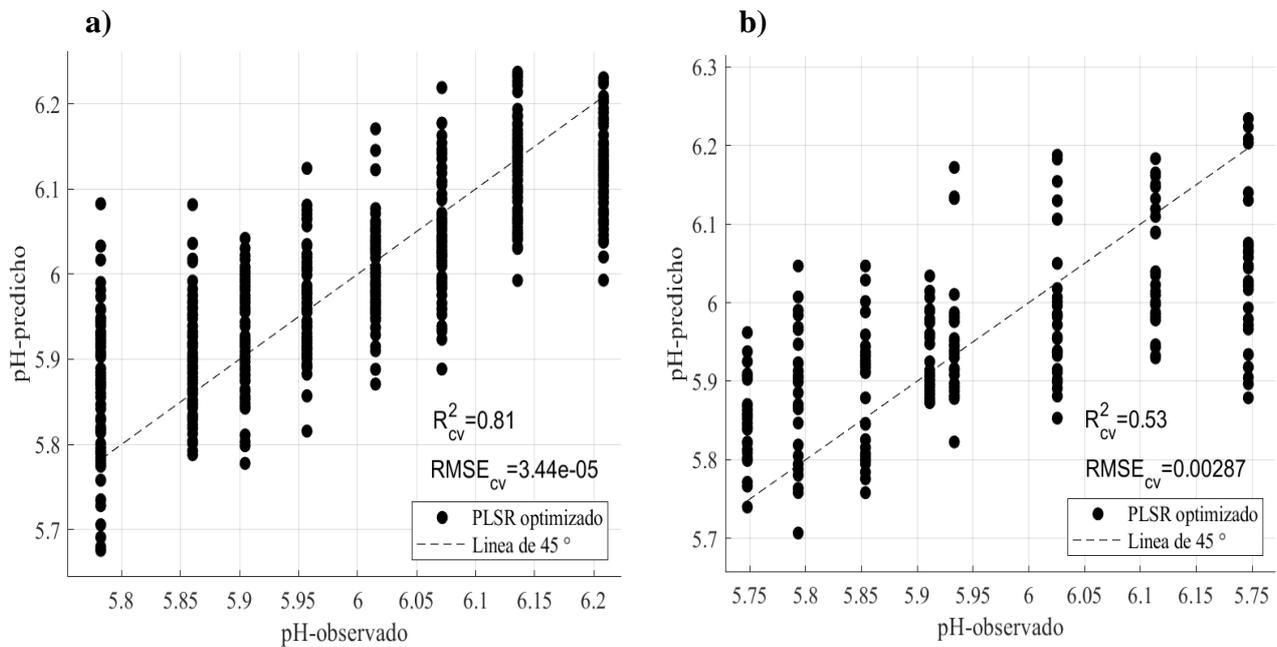
4.4.2. Predicción de parámetros fisicoquímicos durante la transformación de músculo a carne.

Modelización mediante e' para la predicción de parámetros fisicoquímicos.

En la Figura 24 y 25, se presenta la predicción del pH a partir de la constante dieléctrica (e') para las nuestras RFN y DFD machos y hembras. Para las muestras RFN se ha logrado obtener una predicción de pH de $R^2_{cv} = 0,81$ para cerdos machos y $R^2_{cv} = 0,53$ para cerdos hembras (Figura 24 a – b); y para el caso de las muestras DFD se ha logrado predecir $R^2_{cv} = 0,69$ para cerdos machos y $R^2_{cv} = 0,73$ para cerdos hembras (Figura 25 a – b), resultados que son similares a los adquiridos por Andersen et al. (2021) quienes obtuvieron un $R^2 = 0,72$ para cerdos machos, (Balage et al., 2015; Furtado et al., 2019; Savenije et al., 2006) quienes registraron un R^2 en el rango de 0,67 a 0,71 para cerdos machos y hembras, y (Kapper et al., 2012; Qiao et al., 2007) quienes registraron un R^2 en el rango de 0,55 a 0,70 para cerdos (no especifican sexo), similitudes que se dan a pesar que estos han utilizado diferentes técnicas de obtención de espectros como: Espectroscopía Raman (ER), espectroscopía de infrarrojo por transformación de Fourier (FT – IR), espectroscopía de reflectancia visible (VIS), espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR) e imágenes hiperespectrales (HSI). Si comparamos nuestros resultados de predicción de la calidad de carne de cerdo con los realizados en otros tipos de carnes podemos observar que nuestros resultados son análogos a los de Yang et al. (2018) quien obtuvo una predicción para pH de $R^2 = 0,80$ en carne pollo, res, cerdo y pavo, pero inferiores a los de Hashem et al. (2021) quienes obtuvieron una predicción de pH de $R^2 = 0,95$ en la carne de res, dichas similitudes y /o diferencias se debe a lo antes mencionado en la Figura 10.

Figura 24

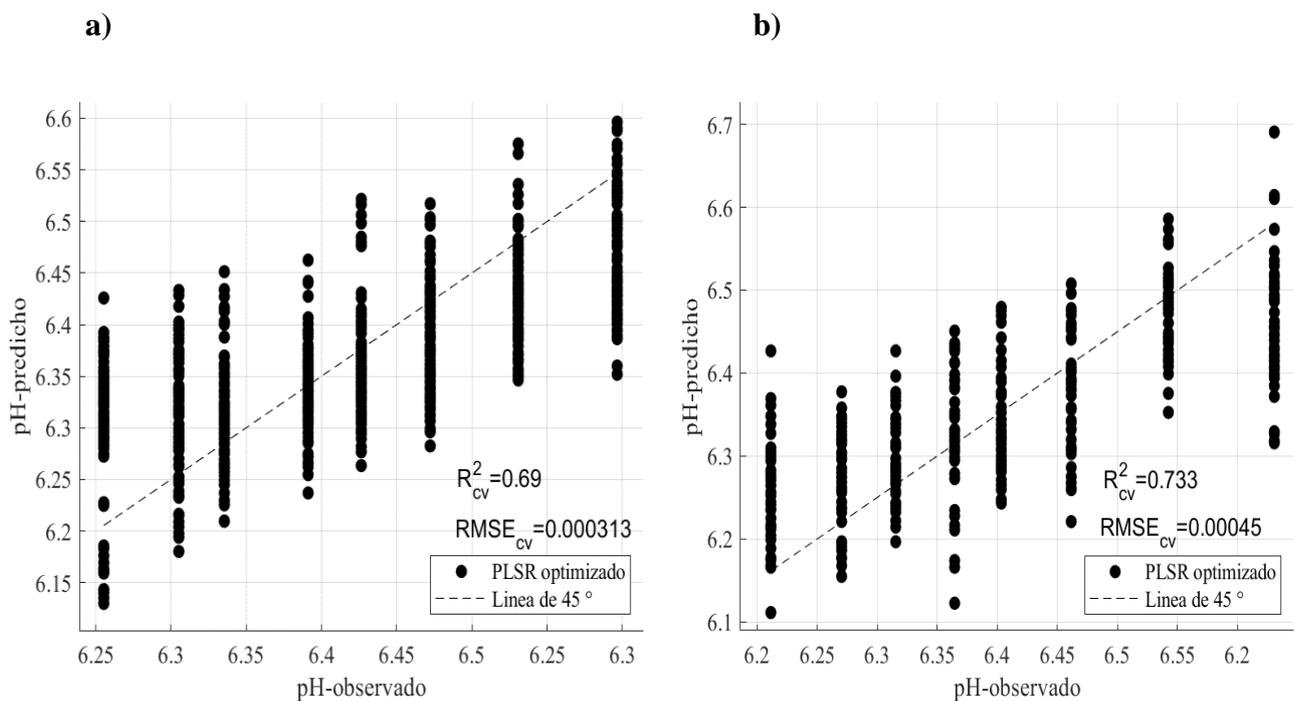
Resultado de la predicción del modelo PLSR para el pH de las muestras RFN



Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

Figura 25

Resultado de la predicción del modelo PLSR para el pH de las muestras DFD

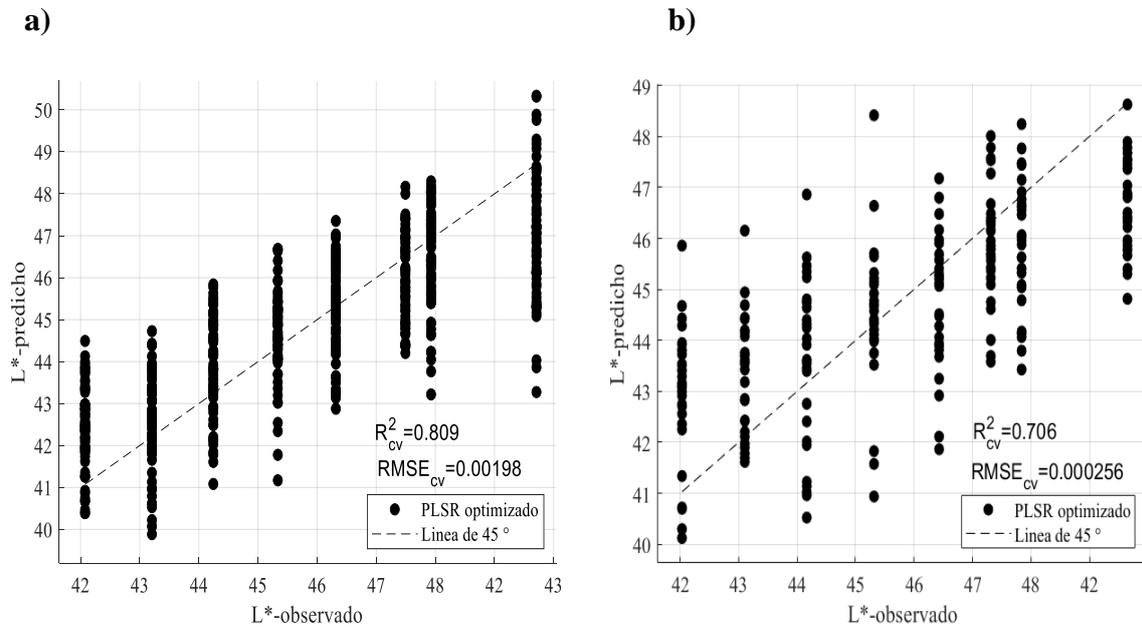


Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

En la Figura 26 y 27, se aprecia la predicción del color (L^*) a partir de la constante dieléctrica ϵ' para las nuestras RFN y DFD machos y hembras, respectivamente. Para las muestras RFN se ha logrado obtener una predicción de L^* de $R^2_{cv} = 0,81$ para cerdos machos y $R^2_{cv} = 0,71$ para cerdos hembras; y para el caso de las muestras DFD se ha logrado predecir $R^2_{cv} = 0,68$ para cerdos machos y $R^2_{cv} = 0,74$ para cerdos hembras, resultados que son semejantes a los alcanzados por (Balage et al., 2015; Furtado et al., 2019; Savenije et al., 2006) quienes registraron R^2 en el rango de 0,63 a 0,84 para cerdos machos y hembras a través de espectroscopia VIS/NIR; y a los obtenidos por (Barbin et al., 2012; Kapper et al., 2012; Qiao et al., 2007) quienes registraron R^2_{cv} en el rango de 0,75 a 0,91 para cerdos (no especifican sexo) espectroscopía FT – IR, NIR y HSI. Si comparamos nuestros resultados de predicción de la calidad de carne de cerdo con los realizados en otros tipos de carnes podemos observar que nuestros resultados son inferiores a los de Yang et al. (2018) quien obtuvo una predicción para L^* de $R^2 = 0,93$ en carne pollo, res, cerdo y pavo, y a los Hashem et al. (2021) quienes registraron una predicción de pH de $R^2 = 0,96$ en la carne de res, resumiendo lo indicado en la Figura 11.

Figura 26

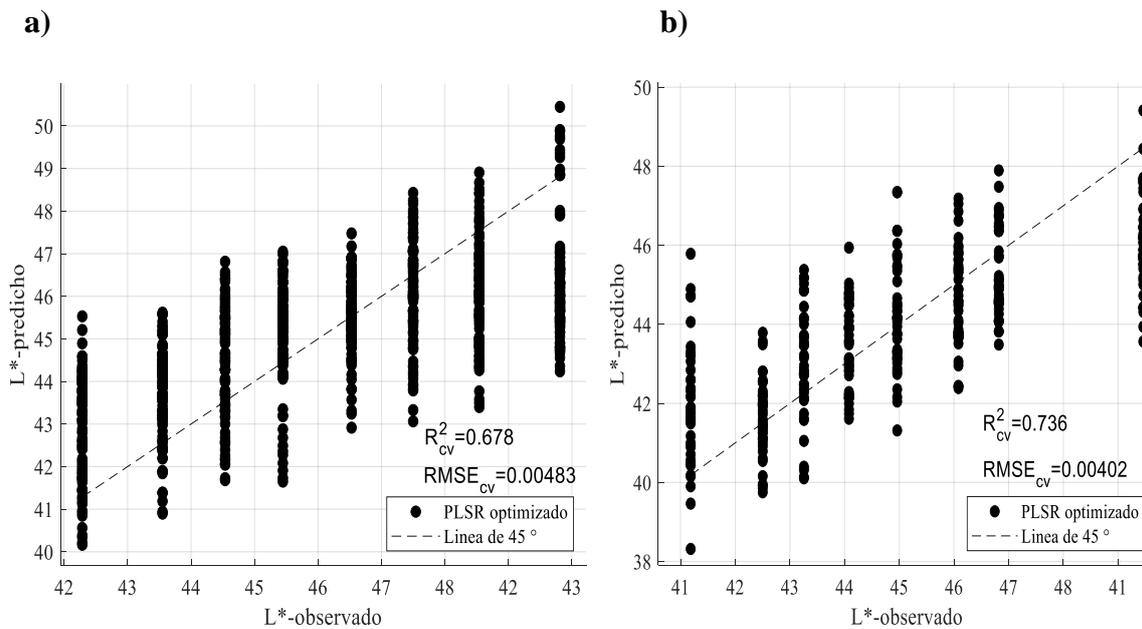
Resultado de la predicción del modelo PLSR para el color (L^*) de la carne RFN



Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

Figura 27

Resultado de la predicción del modelo PLSR para el color (L^*) de la carne DFD



Nota. Los resultados se especifican según el sexo del animal: a) cerdos machos y b) cerdos hembras.

Para la predicción de la humedad y la pérdida de goteo durante la transformación de músculo a carne, no ha sido posible realizarlo debido a que la determinación fisicoquímica de contraste (analítica) utiliza metodología únicamente para carnes, de las cuales, en su mayoría son determinadas a partir de las 24 hpm, conllevando a que la metodología de predicción no se ajuste o persiga el objetivo trazado en la utilización del modelo de PLSR en función a una serie de tiempo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se logró caracterizar las propiedades fisicoquímicas de la carne de cerdo durante las 27 horas post mortem, obteniéndose valores de pH en los rangos de 5,71 a 6,20 y 6,15 a 6,55 para las muestras RFN y DFD, respectivamente; L^* en los rangos de 41,03 a 43,39 para las muestras RFN y de 40,19 a 41,39 para las muestras DFD, a^* en los rangos de 12,97 a 14,70 para las muestras RFN y de 13,87 a 15,15 para las muestras DFD; b^* en los rangos de 7,99 a 9,83 para las muestras RFN y de 8,03 a 9,83 para las muestras DFD; humedad en los rangos de 68,85 a 69,57 para las muestras RFN y 68,38 a 69,72 para las muestras DFD y pérdida por goteo en los rangos de 1,49 a 1,68 en las muestras RFN y entre 1,04 a 1,55 en las muestras DFD.

Se logró clasificar el tipo de carne mediante los parámetros de calidad de pH, color (L^*) y Drip loss, en los cuales se obtuvieron 47 (32 machos y 15 hembras) muestras DFD, 33 (23 machos y 10 hembras) muestras RFN, 0 muestras RSE y 0 muestras PSE de las 80 muestras analizadas.

Se determinó las propiedades dieléctricas (ϵ' y ϵ'') en el rango de microondas (0.5 – 9 GHz) durante la transformación de músculo a carne, y se pudo observar que tanto la constante dieléctrica como el factor de pérdida varían en función del tipo de carne y sexo del animal.

Se realizó la predicción de los parámetros de calidad de pH y color (L^*) y se logró conseguir un coeficiente de determinación en muestras RFN de 0,81 para machos y 0,53 para hembras y en las muestras DFD 0,69 para machos y 0,73 para hembras en el caso del pH. Para el color se logró alcanzar un coeficiente de determinación de 0,81 para machos y 0,71 para hembras en muestras RFN y de 0,68 para machos y 0,74 para hembras para muestras DFD.

Se evaluó la técnica de espectroscopía dieléctrica y se demostró que esta técnica es una buena herramienta de control de calidad en el seguimiento post mortem de la carne de cerdo,

así mismo se demostró que esta es una buena técnica para la ser implementada en el área de control de calidad de las industrias cárnicas.

5.2. RECOMENDACIONES

Realizar investigación utilizando otros modelos quimiométricos en la predicción de calidad interna de la carne de cerdo durante su transformación de músculo a carne, como por ejemplo el método no lineal (rede neuronales, máquina vectorial de soporte y regresión logística) y lineales (Máquina vectorial de soporte, regresión múltiple y PLSR).

Realizar investigación en la predicción de la calidad con otros parámetros de calidad como textura, humedad, pérdida por goteo y capacidad de retención de agua.

Incentivar a realizar estudios similares en los diferentes tipos de carne (cuy, ganado vacuno y trucha), con la finalidad de dar a conocer esta nueva técnica de control de calidad.

Caracterizar las carcasas de las diferentes razas de cerdo mediante espectroscopia dieléctrica.

Realizar modelos quimiométricos de clasificación del tipo de carne de cerdo.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agilent Technologies. (2004). *Microwave Dielectric Spectroscopy Workshop. Measure the Difference*. EE.UU. Obtenido de http://academy.cba.mit.edu/classes/input_devices/DS.pdf
- Alarcón , A. D., Duarte, J. O., Rodríguez, F. A., & Janacua, H. (2005). Incidence of PSE and DFD muscle in pigs slaughtered in Mexico Bajio region. *Técnica Peruana en México*, 43(3), 335-346. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/613/61343304.pdf>
- Alarcon , A., Gamboa, J., y Janacua, H. (2008). Factores que afectan la calidad de la carne de cerdo. *Nacameh*, 2(1). Obtenido de <http://cbs.izt.uam.mx/nacameh/>
- Andersen, P. V., Afseth, N. K., Gjerlaug, E., & Woid, J. P. (2021). Prediction of water holding capacity and pH in porcine longissimus lumborum using Raman spectroscopy. *Meat Science*, 172. doi:10.1016/j.meatsci.2020.108357
- Andersen, P., Afseth, N., Gjerlaug, E., & Wold, J. (2018). Prediction of water holding capacity and pH in porcine longissimus lumborum using Raman spectroscopy. *Meat Science*, 172, 108 - 357. doi:10.1016/j.meatsci.2020.108357
- Andújar, G., Pérez, D., & Venegas, O. (2003). *Química y bioquímica de la carne y los productos cárnicos*. La Habana, Cuba: Editorial Universitaria.
- Araneda, M. (2022). *Carnes y derivados. Composición y propiedades*. Obtenido de <https://www.edualimentaria.com/carnes-cecinas-composicion-propiedades>
- Ariel, R. (2020). La rigidez cadavérica, el espasmo cadavérico y tipos de fibras musculares. *Revista de la Asociación Médica Argentina*, 133(1), 12 - 20. Obtenido de [file:///C:/Users/user/Downloads/12%20a%2020\)%20Rossi%20-%20INTERNET%20baja.pdf](file:///C:/Users/user/Downloads/12%20a%2020)%20Rossi%20-%20INTERNET%20baja.pdf)

- Asencios Gómez, R. (2004). Variación del pH en la carne de cerdos beneficiados con el aturdimiento eléctrico y sin aturdimiento. *Título Profesional*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Obtenido de https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/2265/Asencios_gr.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aunqui, S. (2014). *Estrategias Productivas y Alimentarias para Mejorar la Calidad de la Canal y de la Carne de Chato Murciano*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Balage, J., Silva, S., Gomide, C., Bonin, M., & Figueira, A. (2015). Predicting pork quality using Vis/NIR spectroscopy. *Meat Science*, *108*, 37 - 43. doi:10.1016/j.meatsci.2015.04.018
- Barbin, D., ElMasry, G., Sum, D., & Allen, P. (2012). Predicting quality and sensory attributes of pork using near-infrared hyperspectral imaging. *Analytica Chimica Acta*, *719*, 30-42. doi:10.1016/j.aca.2012.01.004
- Barbin, D., ElMasry, G., Sun, D.-W., & Allen, P. (2013). Non-destructive determination of chemical composition in intact and minced. *Food Chemistry*, *138*, 1162-1171. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.120>
- Bekele, w. (2014). *Calidad de la carne de cerdo, efecto de la congelación y descongelación, uso del calentamiento dieléctrico para la descongelación y la espectroscopia dieléctrica para evaluar la calidad tecnológica*. Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra.
- Bianchi, G., y Feed, O. (2010). *Introducción a la ciencia de la carne*. Montevideo, Uruguay: Hemisferio Sur.
- Braña, D., Ramirez, E., Rubio, M., Sánchez, A., Torrescano, G., Arenas, M., . . . Gerardo, F. (2011). *Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne*. Querétaro, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

- Brito, G. (2010). La terneza de la carne: Importancia comercialmente. *INIA*, 8-11. Recuperado de: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6951/1/18429120112170538.pdf>.
- Camacho Rea, M. d., Arechavaleta Velasco, M. E., Braña Varela, D., y Ramírez Ramírez, F. J. (Diciembre de 2013). *Factores genéticos que influyen en la Calidad de la Carne de cerdo*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Campión, D. S. (2013). *Calidad de la carne porcina según el sistema de producción*. Pontificia Universidad Católica Argentina. Obtenido de <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/calidad-carne-porcina-produccion.pdf>
- Castrillón, W., Fernández, J., & Restrepo, L. (2007). Variables associated PSE (Pale, Soft, Exudative) to meat in porcine carcasses. *Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 327 - 338.
- Castro, M., Botella, P., Toldrá, F., & Fito, P. (2010). Low-frequency dielectric spectrum to determine pork meat quality. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11, 376-386. doi:10.1016/j.ifset.2010.01.011
- Castro, M., Concepción, M., Toldrá, F., & Fito, P. (2010). Microwave dielectric spectroscopy for the determination of pork meat quality. *Food Research International*, 43, 2369-2377. doi:10.1016/j.foodres.2010.09.003
- Castro, M., Dols, L., Toldra, F., & Fito, P. (2011). Development of a dielectric spectroscopy technique for the determination of key biochemical markers of meat quality. *Food Chemistry*, 127, 228-233. doi:10.1016/j.foodchem.2010.12.089
- Castro, M., Toldra, F., & Fito, P. (2011). Low frequency dielectric measurements to assess post-mortem ageing of pork meat. *LWT-food Science and Technollogy* (44), 1466-1472. doi:10.1016/j.lwt.2011.01.002

- Castro, M., Fito, P. J., & Fito, P. (2010). Application of microwaves dielectric spectroscopy for controlling pork meat (*Longissimus dorsi*) salting process. *Journal of Food Engineering*(97), 484 - 490. doi:0.1016/j.jfoodeng.2009.11.005
- Castro, M., Fito, P. J., Toldra, F., & Fito, P. (2010). Use of visible spectroscopy to assess colour development during ageing of fresh pork from different quality classes. *International Journal of Food Science and Technology*, 45(8), 1710-1716. doi:10.1111/j.1365-2621.2010.02325.x
- Castro, Marta. (2010). *Estudio de los espectros dieléctricos para el control de calidad de alimentos*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Cervantes Gomez, L. (2015). *Modelización matemática: Principios y aplicaciones* (Primera ed.). México: Dirección de Fomento Editorial. Obtenido de <https://www.fcfm.buap.mx/assets/docs/publicaciones/Modeliza.pdf>
- Chmiel, M., Slowinski, M., & Janakowski, S. (2014). The quality evaluation of RFN and PSE pork longissimus lumborum muscle considering its microstructure. *14*(3), 737 -747. doi:10.2478/aoas-2014-0035
- Chuquizuta, T., Florián, G., Castro, W. M., y Fito, P. (2016). Efecto de las condiciones de proceso en el desarrollo del color durante le elaboración de pan: uso de técnicas de imagen para evaluación del color. *Revista de Investigacion Científica UNTRM*, 2(1), 32 - 39. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Tony-Sтивен-Trigoso-2/publication/321204600_Efecto_de_las_condiciones_de_proceso_en_el_desarrollo_del_color_durante_la_elaboracion_de_pan_uso_de_tecnicas_de_analisis_de_imagen_para_evaluacion_del_color/links/5a1c3d7045
- Coma, J., y Piquer, J. (2000). Calidad de Carne en Porcino: Efecto de la nutrición. XV curso de Especialización Avances en la Nutricion y Alimentacion Animal.

- Cotto Piguave, G., y Montoya Salazar, B. (2022). *Estudio de factibilidad de la Enzima Ficina proveniente de látex de higo (Ficus carica L.) como ablandador cárnico y su uso en la gastronomía*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/61561/1/BINGQ-GS-22P40.pdf>
- Cruz, C. (2014). *Procesos bioquímicos de la carne, elementos minerales y cristalización*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Dan, L., Da, W., & Xin, A. (2014). Recent Advances in Wavelength Selection Techniques for Hyperspectral Image Processing in the Food Industry. *Food Bioprocess Technol*, 7, 307- 323. doi:10.1007/s11947-013-1193-6
- Della Rosa, M. (2018). *Variaciones en la calidad de la carne asociados al consumo residual de bovinos en pastoreo*. Universidad Nacional de Mar de Plata, Balcarce. Obtenido de https://repositorio.inta.gob.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/7213/INTA_CIA_P_InstitutodeInvestigacionAnimaldelChacoSemiario_DellaRosa_MM_Variaciones_en_la_calidad_de_la_carne.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Eusse Gómez, J. S. (2009). *Calidad de la carne de cerdo*. Universo Porcino.
- FAO. (2002). *Sistemas de Calidad e Inocuidad de los Alimentos*. Roma: Grupo editorial Dirección de Información de la FAO.
- Faucitano, L., Lelo, M. C., Ster, C., Lo Fiego, D. P., Methot, S., & Saucier, L. (2010). Shelf life of pork from five different quality classes. *Meat Science*, 84, 466 - 469. doi:10.1016/j.meatsci.2009.09.017
- Fernando Garcia, D. M. (2007). *Nuevas Aplicaciones Informáticas para la Clasificación de la Carne de Cerdo Iberico Empleando Morfometría y Reflectancia Especial*. Granada: Universidad de Granada.
- Frontal, B. (2005). *El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones*. Mérida, Venezuela: Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química.

- Furtado, E., Bridi, A., Barbin, D., Barata, C., Peres, L., Barbon, A., . . . Batista, J. (2019). Prediction of pH and color in pork meat using VIS-NIR Near-infrared Spectroscopy (NIRS). *Food Science and Technology*, 39(1), 88 - 92. doi:0.1590/fst.27417
- Gamero Negrón, R. (2015). *Estudio de la calidad de carnes y productos cárnicos procedentes de hembras porcinas ibéricas enteras, inmunocastradas y castradas quirúrgicamente*. Universidad de Extremadura. Cáceres: Universidad de Extremadura.
- Geesink, G. H., Schreutelkamp, F. H., Frankhuizen, R., Vedder, N. M., Faber, N. M., Kranen, R. W., & Gerritzen, M. A. (2003). Prediction of pork quality attributes from near infrared reflectance spectra. *Meat Science*, 65, 661- 668.
- Gomez Sánchez, J. A. (2016). *Medición de terneza de carne vacuna usando espectroscopia dieléctrica*. Tesis doctoral, Universidad Nacional del Tucumán, Tucumán.
- Gomez, M., y Gomez, N. (2013). *Evaluación de la calidad de carne de pollo (Pectoralis major y Pectoralis minor) que se expende en la ciudad de San Juan de Pasto (Nariño)*. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto.
- Gómez, S. (2017). *Estudio de las propiedades dieléctricas de los tejidos: Una aproximación mediante modelado computacional y experimental*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Hashem, M., Tule, S., Khan, M., Rahman, M., Azad, M., & Ali, M. (2021). Prediction of beef quality traits through mini NIR spectrophotometer and multivariate analyses. *Meat Research*, 1(6).
- Hebbar, H., & Rastogi, N. (2012). Microwave Heating of Fluid Foods. *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods*, 369-409. doi:10.1016/B978-0-12-381470-8.00012-8
- Hernández, A. (2010). *Control de calidad y seguridad de la carne y productos cárnicos curados mediante el uso de sensores enzimáticos*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia]. doi:10.4995/Thesis/10251/8968

- Horcada, A., y Polvillo, A. (2010). *La Producción de Carne en Andalucía*. Andalucía: Junta de Andalucía Consejería de Andalucía. Obtenido de https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160265La_produccion_de_carne_en_Andalucia.pdf
- Jara, J. P. (2007). *Efecto del pH Sobre la Conservación de Carne de Bovino de Corte Oscuro (DFD) Envasada al Vacío, Almacenada a 0°C*. Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- Jerez Timaure, N., Arenas de Moreno, L., Sulbarán, M., y Uzcátegui, S. (2013). Influencia del tiempo de reposo en las características de calidad de la canal y la carne de cerdos. *Ciencia Agrícola*, 47(1), 55 - 60.
- Jiao, Y., Tang, J., Wang, S., & Koral, T. (2014). Influence of dielectric properties on the heating rate in free-running oscillator radio frequency systems. *Revista de ingeniería alimentaria*, 197-203. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.07.032
- Kapper, C., Klont, R., Verdonk, J., Williams, J., & Urlings, H. (2012). Prediction of pork quality with near infrared spectroscopy (NIRS) 2. Feasibility and robustness of NIRS measurements under production plant conditions. *Meat Science*, 91, 300 - 305. doi:0.1016/j.meatsci.2012.02.006
- Khaled, D., Novas, N., Gasquez, J. A., Garcia, R. M., & Agugliaro, F. M. (2015). Fruit and Vegetable Quality Assessment via dielectric Sensing. *Research Center on Agricultural and Food Biotechnology*, 15, 15363-15397. doi:10.3390/s150715363
- Khan, M., Khan1, M. I., Sahar, A., & Jamil, A. (2020). Predicting authenticity and physicochemical characteristics of meat through ft-ir spectroscopy coupled with multivariate analysis. *sPak. J. Agri. Sci.*, 57(4), 1141-1147. doi:10.21162/PAKJAS/20.9352
- Lacomba Perales, R. E., y Ruiz Fuentes, J. (2004). Dipolos Magnéticos. 25 - 35. Obtenido de https://www.uv.es/martined/tecweb/Dipolos_magneticos.pdf

- Lascano Clavijo, G. E. (2021). *Características físico químicas de la carne de cerdo, alimentados con dietas alternativas locales*. Manabí: Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- León, M., Orduz, A., y Velandia, M. (2017). Composición fisicoquímica de la carne de oveja, pollo, res y cerdo. *@limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 15(2), 62 - 75.
- Liu, R., Wu, G., Li, K., Ge, Q., Wu, M., & Bao, W. (2021). Comparative Study on Pale, Soft and Exudative (PSE) and Red, Firm and Non-Exudative (RFN) Pork: Protein Changes during Aging and the Differential Protein Expression of the Myofibrillar Fraction at 1 h Postmortem. *Foods*, 10(4), 733. doi:10.3390/foods10040733
- Loayza, M. (2017). *Incidencia de Carnes PSE (pálida, suave y exudativa) y DFD (oscura, firme y seca) en carcasas porcinas beneficiadas en el centro de faenamiento FRILISAC*. Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Lopez, A. (2018). *Parámetros de calidad y características sensoriales de la carne de terneros de raza Retinta criados en dos modelos de producción ecológica*. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla, Sevilla. Obtenido de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/80945/Tesis%20Doctoral%20Adoraci%C3%B3n%20L%C3%B3pez%20Gajardo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Macías Alvia, A., Hurtado Astudillo, J. R., Cedeño Holguín, D. M., Vite Solórzano, F. A., Scott Álava, M. M., Vallejo Valdivieso, P. A., . . . Torres Macías, O. E. (2018). *Introducción al estudio de la bioquímica* (Primera ed.). Alzamora: Área de Innovación y Desarrollo, S.L. doi:10.17993/CcyLI.2018.28
- Maganhini, M., Mariano, B., Soares, A., Guarnieri, P., Shimokomaki, M., & Ida, E. (2007). Carnes PSE (Pale, Soft, Exudative) e DFD (Dark, Firm, Dry) em lombo suíno numa linha de abate industrial. 27, 69 - 72.

- Masot, R. (2010). *Desarrollo de un sistema de medida basado en espectroscopia de impedancia para la determinación de parámetros fisicoquímicos en alimentos*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Marini, F. (2013). Chemometrics in Food Chemistry. En *Data Handling in Science and Technology* (1 ed., Vol. 28, págs. 1- 487). Roma, Italia: *Elsevier*. Obtenido de <https://www.elsevier.com/books/chemometrics-in-food-chemistry/marini/978-0-444-59528-7>
- Menchú, M., y Méndez, H. (2012). *Tabla de composición de alimentos de Centroamérica* (Segunda ed.). Obtenido de <http://www.incap.int/mesocaribefoods/dmdocuments/TablaCAAlimentos.pdf>
- Mentaschi, L., Besio, G., Cassola, F., & Mazzino, A. (2013). Problems in RMSE-based wave model validations. *Ocean Modelling* 72, 53 - 58. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2013.08.003>
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2020). *Panorama y Perspectivas de producción de Carne de cerdo en el Perú*.
- Mogrovejo Mogrovejo, N. E. (2021). *Efecto de los factores transporte, alojamiento y manejo sobre la calidad de la carne de cerdo*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Montoya, C. (2014). *Caracterización de algunas variables de calidad de carne en bovinos manejados bajo diferentes condiciones de producción en el trópico colombiano*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Ngadi, M., Satyanarayan, R. S., Vijaya, G. S., Raghavan, & Samira, K. (2015). Dielectric Properties of Pork Muscle. *International Journal of Food Properties*, 18(1), 12-20. doi:[10.1080/10942912.2010.528112](https://doi.org/10.1080/10942912.2010.528112)
- Nieto, A. (2010). *Diseño de un medidor de permitividad de material dieléctrico*. Universidad Carlos III de Madrid, Leganés.

- Núñez, C. (2015). *Calidad de la carne de bovino obtenida de animales desarrollados bajo diferentes condiciones ambientales*. Instituto Tecnológico de Culiacán, Culiacán.
- Oberli, C. (2006). *Ondas de Radio, Antenas y Salud : Nociones Fundamentales para el Legislador*. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Onega, E. (2003). *Evaluación de la calidad de carnes frescas: Aplicación de Técnicas Analíticas, Instrumentales y sensoriales*. Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (05 de marzo de 2015). *Carne y productos cárnicos*. Obtenido de FAO: http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html#:~:text=La%20carne%20se%20compone%20de,como%20peque%C3%B1as%20cantidades%20de%20carbohidratos.
- Orno Badia, C. (2016). *Mejora de la calidad de carne en porcino*. Universidad de Lleida, Lleida. Obtenido de <https://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/58891/cornob.pdf?sequence=1>
- Paredes Arana, M., Vallejos Fernández, L., & Mantilla Guera, J. (2017). Effect of the feeding type on productive performance, carcass characteristics and meat quality of black creole pig of Cajamarca. *Rev Inv Vet Perú*, 28(4), 894 - 903. doi:10.15381/rivep.v28i4.13879.
- Paredia , G., Rabonia, S., Bendixend, E., De Almeida, A., y Mozzarella, A. (2012). Eventos moleculares y tecnológicos “Muscle to meat” transformaciones: la perspectiva de la proteómica. 75, 4275 - 4289. doi:10.1016/j.jprot.2012.04.011
- Pedauy, J., Bañon, S., Quiñero, M., Lopez, M., & Garrido, M. (1994). Influence of fat thickness, intramuscular fat and sex on pig meat quality. 9(10), 17 - 24.
- Pérez, M. d., y Ponce, E. (2013). *Manual de Prácticas de laboratorio Tecnología de carnes*. Universidad Autónoma Metropolitana, México.

- Pérez, Z. (2014). *Desarrollo de Software para el análisis de espectroscopía de ruptura inducido por láser*. Instituto Politecnico Nacional, Mexico.
- Ponce, K. (2010). *Determinación de propiedades electromagnéticas de materiales sólidos utilizando guías de ondas rectangulares en el rango de frecuencias de 8-12 GHz*. Centro de investigación científica y de educación superior de ensenada, Ensenada.
- Qiao, J., Wang, N., Ngadi, M., Gunenc, A., Monroy, M., Gariépy, C., & Prasher, S. (2007). Prediction of drip-loss, pH, and color for pork using a hyperspectral imaging technique. *Science Direct*, 76, 1-8. doi:10.1016/j.meatsci.2006.06.031
- Ramirez, J. (2004). *Características Bioquímicas del músculo, calidad de la carne y de la grasa de conejos seleccionados por velocidades de crecimiento*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra.
- Raviolo, A. (2008). Las definiciones de conceptos químicos básicos en textos de secundaria. *Didáctica de la química*, 315 - 322. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v19n4/v19n4a12.pdf>
- Real Academia Española. (2014). *El diccionario de la lengua Española* (23a ed.).
- Reyes , A. C. (2018). *Determinación de constantes dieléctricas por espectroscopia de microondas para el análisis de calidad de productos hortofrutícolas*. Pontificia Universidad Catolica del Peru, Lima, Perú.
- Reyes, A., Yarlequé, M., Castro, W., & Chuquizuta, S. (2018). Determination of Permittivity Values Using Microwave Dielectric Spectroscopy for Assessing Apple and Purple Sweet Potato Quality Parameters. doi:10.1109/ICEAA.2018.8520427
- Robaina, R. (2012). *Algunas Definiciones Prácticas*. Instituto Nacional de Carnes. Obtenido de https://www.inac.uy/innovaportal/file/6351/1/algunas_definiciones_practicas.pdf
- Rodríguez, R. (2017). *Estudio de la espectroscopia dieléctrica para la medición del contenido de humedad en productos alimenticios*. Tesis Doctoral, Universidad de Piura, Piura.

- Rojas, K. (2009). *Radiación Electromagnética*. Universidad Pontificie Bolivariana, Bucaramanga.
- Romero , M., & Sánchez , J. (2012). Animal welfare during Transport and its relationship with meat quality. *Revision de literatura*, 27(1), 2944 - 2944.
- Rosales, M. (2016). *Efecto de la temperatura y el contenido de humedad sobre las propiedades dieléctricas de desechos industriales de manzana, piña y zanahoria*. Universidad de Costa Rica, San José.
- Ruiz Carrascal, J., Martin, D., y Ventanas , S. (2004). *La calidad de la carne en porcino*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/220036861_La_calidad_de_la_carne_en_porcino/citation/download
- Saguay, M., y Torres, R. (2011). *Análisis del comportamiento de medios dieléctricos ante las altas tensiones eléctricas*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Savenije, B., Geesink, G., Van der Palen, J., & Hemke, G. (2006). Prediction of pork quality using visible/near-infrared reflectance spectroscopy. *Meat Science*, 73, 181 - 184. doi:10.1016/j.meatsci.2005.11.006
- Segarra Zenteno, E. B., Salinas Cueva, L. R., & López Crespo, G. E. (2018). Quality of the pig carcass in the porcine industry of Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, 2(2), 118 - 131. Obtenido de <http://revistaecuadorianadecienciaanimal.com/index.php/RECA/article/view/84/80>
- Segarra, E., Salinas, L., & Gonzalo, L. (2018). Quality of the pig carcass in the porcine industry of Ecuador. *Ciencia Animal*, 2(2), 2602 - 8220.
- Sosa, M., Valerio, L., Lopez, A., & Garcia, H. (2010). Dielectric properties of foods: Reported data in the 21st Century and their potential applications. *Food Science and Technology*, 43, 1169-1179. doi:10.1016/j.lwt.2010.03.017

- Tamburini, V. (2020). *El transporte del cerdo y su influencia sobre el bienestar y calidad de carne*. Universidad Nacional de la Plata.
- Tang, J. (2005). Dielectric properties of foods. *The microwave processing of foods*, 22-38. doi:10.1533 / 9781845690212.1.22
- Teruel, R. (2017). *Propiedades dieléctricas y conductividad de nuevos electrolitos poliméricos para aplicaciones energéticas*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- Timaure, N., Trompiz, J., Mendoza, E., y Arenas, L. (2020). Evaluación del método de aturdimiento y tiempo de reposo corto sobre las características de la canal y la carne de cerdo. *Rev Inv Vet Perú*, 31(3). Obtenido de <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i3.18722>
- Tirado, D., Montero, P., y Acevedo, D. (2015). Estudio Comparativo de Métodos Empleados para la Determinación de Humedad de Varias Matrices Alimentarias. *Información Tecnológica*, 26(3), 3 - 10. doi:10.4067/S0718-07642015000200002
- Torres Armas, E. A. (2013). *Métodos Estadísticos para la Investigación Experimental*. Chachapoyas-Perú: Compugraf S. R. L.
- Torres Filho, R., Silva, V., Mendes Rodrigues, L., Rogério Fontes, P., Souza Ramos, A., y Mendes Ramos, E. (2018). Classification of pork quality by hierarchical cluster analysis. *British Food Journal*, 120(7), 1446 - 1456. doi:10.1108/BFJ-10-2017-0589
- Traffano, M., Castro, M., Colom, R., y Fito, P. (2015). Estudio de la aplicación de la espectroscopía dieléctrica para predecir la actividad del agua de la carne durante el proceso de secado. *Journal of Food Engineering*, 166, 285-290. doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.06.030

- Traffano, M., Castro, M., Colom, R. J., & Fito, P. J. (2018). Innovative photonic system in radiofrequency and microwave range to determine chicken meat quality. *Journal of Food Engineering*, 239, 1-7. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.06.029
- Traffano, M., Castro, M., Colom, R. J., Talens, P., & Fito, P. (2020). New methodology to analyze the dielectric properties in radiofrequency and microwave ranges in chicken meat during postmortem time. *Journal of Food Engineering*. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110350
- Valero Gaspar, T., Del pozo , S., Ruiz Moreno, E., Ávila Torres, J., y Varela Moreiras, G. (2010). *Guía Nutricional de la Carne*. Obtenido de <https://www.fen.org.es/aplicaciones/fedecarne-fen/pdf/guiaNutricion.pdf>
- Vasquez Puentes, E. (2020). *Factores que afectan la calidad de la carne de cerdo*. Saltillo: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Venkatesh, M. S., & Raghavan, G. S. (2004). An Overview of Microwave Processing and Dielectric Properties of Agri-food Materials. *Ingeniería de biosistemas*, 1, 1-18. doi:doi:10.1016/j.biosystemseng.2004.01.007
- Yang, Y., Wang, W., Chul, S., Hong, Z., Jiang, H., & Jia, B. (2018). Predicción de quality traits of chicken breast fillets by different spectral range of hyperspectral Imaging. *An ASABE Meeting Presentation*. doi:DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.201800828>
- Zhao, M., Downey, G., & O'Donnell, C. (2016). Exploration of microwave dielectric and near infrared spectroscopy with multivariate data analysis for fat content determination in ground beef. *Food Control*. doi:10.1016/j.foodcont.2016.03.031.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

- Determinación de las propiedades fisicoquímicas

Figura 28

Medición del pH



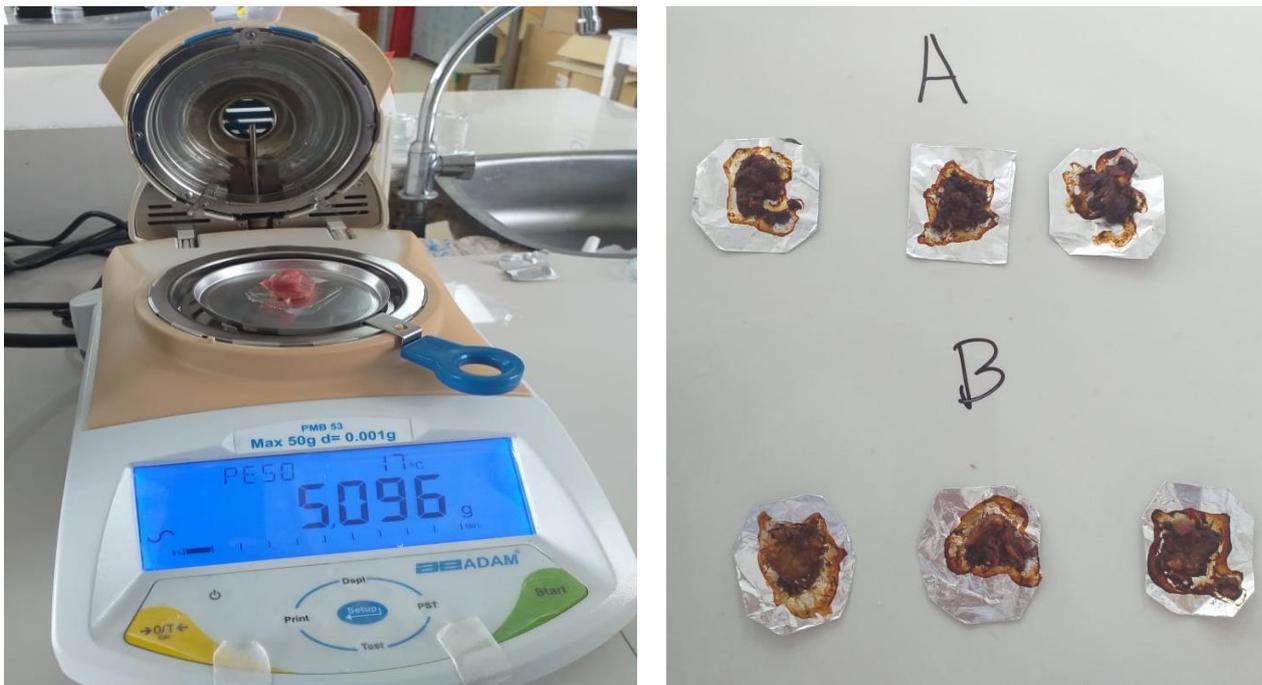
Figura 29*Medición de color***Figura 30***Medición de la humedad*

Figura 31

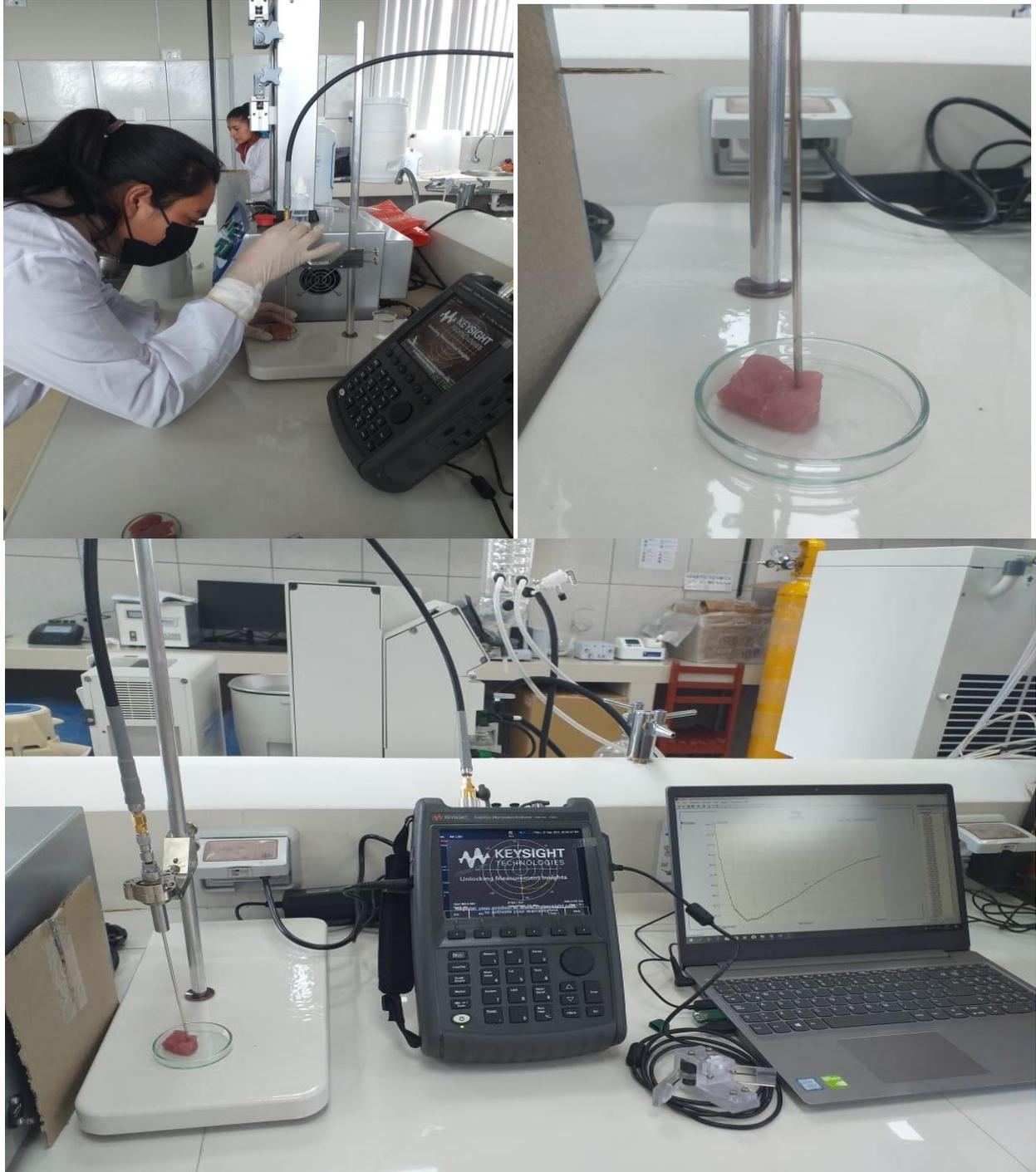
Medición de la pérdida por goteo (Drip Loss)



- Determinación de las propiedades dieléctricas.

Figura 32

Medición de las propiedades dieléctricas



➤ Procesamiento de datos

Figura 33

Ordenamiento de datos de las propiedades fisicoquímicas según cada hora post mortem

PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS										
N° de muestr	SEXO	EDAD	REPETISIONES	pH	COLOR			HUMEDAD	DRIP LOSS	
					L*	a*	b*			
M1	hembra	9 meses	R1	6.464	41.840	10.570	8.260	68.790	0.320	
			R2	6.461	41.840	11.090	7.350	72.490	1.700	
			R3	6.459	43.740	15.650	9.660	70.400	0.560	
			PROMEDIO	6.461	42.473	12.437	8.423	70.560	0.860	
M2	hembra	8 meses	R1	6.666	41.710	16.920	9.930	70.150	0.460	
			R2	6.656	41.120	14.710	9.150	70.230	1.300	
			R3	6.651	40.370	12.440	7.880	68.390	0.800	
			PROMEDIO	6.658	41.067	14.690	8.987	69.590	0.853	
M3	macho	5 meses	R1	6.654	41.900	11.970	6.090	73.290	1.260	
			R2	6.643	41.630	12.320	6.840	70.690	2.110	
			R3	6.639	41.750	10.000	5.520	69.210	2.120	
			PROMEDIO	6.645	41.760	11.430	6.150	71.063	1.830	
M4	macho	6 meses	R1	6.480	38.120	6.110	4.360	70.600	4.670	
			R2	6.476	38.520	6.570	4.530	71.430	4.000	
			R3	6.479	39.170	6.450	5.420	67.560	1.570	
			PROMEDIO	6.478	38.603	6.377	4.770	69.863	3.413	
M5	macho	6 meses	R1	6.823	42.320	17.540	8.330	70.600	4.310	
			R2	6.818	41.430	13.460	7.130	69.660	3.450	
			R3	6.812	41.830	17.200	8.290	67.340	1.750	
			PROMEDIO	6.818	41.860	16.067	7.917	69.200	3.170	

Figura 34

Clasificación de la calidad de la carne

N° de muestr	SEXO	EDAD	REPETISIONES	pH	COLOR			HUMEDAD	DRIP LOSS	
					L*	a*	b*			
M1	hembra	9 meses	R1	5.79	46.93	10.48	7.49	68.79	0.32	
			R2	5.78	46.96	12.86	8.87	72.49	1.7	
			R3	5.78	47.18	14.63	9.89	70.40	0.56	
			PROMEDIO	5.78	47.02	12.66	8.75	70.56	0.86	
M2	hembra	8 meses	R1	6.108	41.04	12.21	8.77	70.15	0.46	
			R2	6.098	42.58	12.83	8.84	70.23	1.3	
			R3	6.096	41.98	16.51	11.19	68.39	0.8	
			PROMEDIO	6.10	41.87	13.85	9.60	69.59	0.8533333	
M3	macho	5 meses	R1	6.068	42.80	12.37	9.17	73.29	1.26	
			R2	6.066	41.31	10.37	7.24	70.69	2.11	
			R3	6.062	41.43	12.12	7.93	69.21	2.12	
			PROMEDIO	6.07	41.85	11.62	8.11	71.06	1.83	
M4	macho	6 meses	R1	6.101	41.25	8.55	6.59	70.60	4.67	
			R2	6.099	42.86	8.87	7.14	71.43	4	
			R3	6.099	41.39	9.82	7.25	67.56	1.57	
			PROMEDIO	6.10	41.83	9.08	6.99	69.86	3.4133333	
M5	macho	6 meses	R1	6.29	41.18	17.83	10.46	70.60	4.31	
			R2	6.26	40.69	17.62	11.21	69.66	3.45	
			R3	6.26	40.88	13.52	8.77	67.34	1.75	
			PROMEDIO	6.27	40.92	16.32	10.15	69.20	3.17	

TIPO DE CARNE		
	M	H
PSE	0	0
RSE	0	0
RFN	23	10
DFD	32	15
Total	80	15

Figura 35

Ordenamiento de los espectros dieléctricos según cada hora post mortem

Figura 36

Ordenamiento de los espectros según el tipo de carne y sexo