

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

DIVISION DE CIENCIAS VETERINARIAS



EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS (pH, COLOR Y MARMOLEO) DE CALIDAD DE LA CARNE DE CERDO CON RELACIÓN A TRES DIFERENTES SISTEMAS DE SACRIFICIO

**TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA
P R E S E N T A N**

P.M.V.Z. JUAN CARLOS GUZMÁN RUIZ

P.M.V.Z. ELVIA SÁNCHEZ GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS

M. EN C. JORGE GALINDO GARCÍA

ASESORES DE TESIS

PH. D. DANIEL VILLAGÓMEZ ZAVALA

M. EN C. DAVID ROMÁN SÁNCHEZ CHIPRES

LAS AGUJAS, NEXTIPAC, ZAPOPAN, JAL. JUNIO DEL 2001

182557/020433
V 1390
g 1

“La fe libera la razón en cuanto le permite alcanzar coherentemente su objeto de conocimiento y colocarlo en el orden supremo en el cual todo adquiere sentido”

FIDES ET RATIO

A nuestros padres, por su apoyo incondicional, porque con su paciencia y cariño nos han motivado a seguir adelante.

A nuestros amigos, quienes simplemente con su presencia en cuerpo o alma nos impulsan a seguir adelante.

A todas aquellas personas que de alguna u otra manera, han sido parte importante en nuestra formación integral.

Y, finalmente a Dios, porque es principio y fin de todo lo que hacemos.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis se llevó a cabo gracias a los estudios realizados en el rastro Las Juntas, ubicado en el Municipio de Tlaquepaque, Jalisco. El rastro ubicado en el Rancho Cofradía de la Universidad de Guadalajara y el rastro de la empresa Kekén S. A. de C. V. ubicado en Pénjamo, Guanajuato, también agradecemos al Centro de Biotecnología Animal de la Universidad de Guadalajara por permitirnos utilizar su equipo de medición de calidad de la carne.

Queremos agradecer de manera especial el apoyo que se nos otorgó por parte del proyecto No. 20000301004 del Simorelos del Conacyt.

Nosotros queremos expresar nuestra sincera gratitud a las siguientes personas.

Ph. D. Daniel A. F. Villagómez Zavala, Director del Centro de Biotecnología Animal, por su apoyo en la orientación y dirección de esta tesis, por sus consejos profesionales, por ayudarnos a incursionar en el mundo de la ciencia y por su amistad.

M en C. Jorge Galindo García, Administrador General del Rancho Cofradía de la Universidad de Guadalajara, por la motivación y colaboración en el presente estudio así como también por el apoyo que desinteresadamente nos ha brindado a lo largo de nuestra vida profesional.

M en C. David Sánchez Chipres, por su gran ayuda en la realización de este trabajo y por los conocimientos transmitidos en el área práctica de la Medicina Veterinaria.

M en C. Ricardo Nuño Romero, por su sincera y desinteresada ayuda sin la cual esta tesis no hubiera sido realizada.

A los representantes de nuestro honorable jurado académico: **Ph. D. Efraín Pérez Torres, M en C. Carlos Campos Bravo, y M. V. Z. Emilio Campos Morales**, quienes por su estupenda formación académica y sus valiosas observaciones contribuyeron en el mejoramiento del presente estudio.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
Resumen.....	ii
Introducción.....	1
Sistemas de sacrificio.....	4
Maduración de la carne.....	9
Características tecnológicas de calidad de la carne.....	16
Planteamiento del problema.....	23
Justificación.....	24
Hipótesis.....	25
Objetivos.....	26
Material y métodos.....	27
Resultados.....	31
Discusión.....	37
Conclusiones.....	42
Bibliografía.....	43

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar algunas características tecnológicas de calidad de la carne de cerdos sacrificados en tres rastros con diferente grado de tecnificación y manejo del proceso de obtención de la carne. Trescientas muestras de carne fueron tomadas de la línea de sacrificio de los rastros, las mediciones se realizaron sobre el músculo dorsal largo a nivel de la 4ta. vértebra lumbar. Se registraron condiciones de tiempo de reposo, dietado presacrificio, tipo de sacrificio, voltaje y tiempo de shock eléctrico. Las medidas de pH fueron tomadas a los 45 minutos postsacrificio usando un potenciómetro para carnes (PK₂₁NWK-BINAR®). Se realizaron mediciones subjetivas de color y marmoleo por tres panelistas, calificándolas de acuerdo a las escalas de cinco rangos aprobada por el Consejo Nacional de Productores de Carne de Cerdo de E.U.A. Se observaron diferencias con respecto a la acidez (pH a los 45 minutos) de la carne en relación al tipo de rastro. La acidez (pH a los 45 minutos) de la carne del rastro TIF fue diferente frente a los rastros semitecnificado y rústico ($P < 0.005$), de las 300 muestras el 39.3% presentaron carnes ácidas. El color de la carne también mostró diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.01$) entre el rastro TIF contra los rastros semitecnificado y rústico. De las 300 muestras el 76.9% presentaron carnes pálidas. Por lo que respecta al marmoleo que presentó la carne, el rastro TIF difiere frente al marmoleo de la carne que presentó el rastro rústico ($P < 0.005$). Al parecer existe una marcada diferencia en las características tecnológicas (pH y color) de calidad de la carne de cerdo como resultado de la diferencia en los tipos de sacrificio. Carne de mejor calidad se obtiene en el rastro Tipo Inspección Federal (TIF). La anormalidad de la carne Pálida, Suave y Exudativa (carne PSE) se presentó en mayor frecuencia ($P < 0.005$) en los rastros semitecnificado y rústico. El mejor grado de marmoleo se observó en la carne del rastro Tipo Inspección Federal, esto tal vez debido a diferencias en la composición racial (genotipo de raza) de los cerdos entre las regiones porcícolas de Jalisco.

INTRODUCCIÓN

Al parecer las razas modernas de cerdos, *Suis domesticus*, descienden por lo menos de dos grupos salvajes: las razas del norte de Europa, del jabalí salvaje, *S. scrofa*; y las del sur de Europa, Asia y África, que surgieron de uno de los cerdos malayos, posiblemente del cerdo de collar, *S. vittatus*. El primer tipo de animales mencionados era de mayor tamaño, más tosco en todo sentido que el segundo tipo y tenía una cubierta de pelo más densa que este último.³⁸

Las razas europeas eran rústicas, crecían lentamente y maduraban tarde. Las razas asiáticas eran pequeñas con patas cortas, crecían rápidamente y maduraban temprano. Estos animales fueron domesticados hace unos 6000 años.²¹

La porcicultura en América se remonta a la época de la Conquista, cuando se dio lugar a la introducción de razas europeas y en otras épocas a asiáticas. Estos animales se multiplicaron principalmente en México y Brasil. En México estos animales dieron origen a los cerdos denominados criollos, clasificados en dos tipos: cerdos cuinos o enanos de las tierras altas de México, adaptado a las zonas templadas y frías; y el cerdo pelón mexicano, adaptado a las regiones tropicales de México.^{19,31,37}

Durante la Conquista, la carne de porcino fue la fuente principal de abasto de carne para los conquistadores. Más adelante, se permitió que la población indígena dispusiera de algunos animales que dieron origen a la producción para autoabastecimiento, bajo un esquema de pastoreo, que actualmente también se le conoce como de traspatio.²⁹

De esta forma, los cerdos criollos prevalecieron hasta principios de este siglo, época en que se iniciaron las importaciones de cerdos de raza Duroc y Poland China, iniciándose un proceso de sustitución de los recursos genéticos originales.³⁷

Asimismo, es importante resaltar que independientemente que la porcicultura en la actualidad aporta solamente una cuarta parte de las carnes producidas en el país, mantiene un papel preponderante en el mercado de cárnicos, principalmente por su consumo a través de sus platillos regionales y por el consumo de la industria de carnes frías y embutidos.³¹

Basándose en la información disponible, la carne de porcino es la que en mayor medida se produce a escala mundial, aportando el 44% de las carnes producidas, con un total aproximado de 88 millones de toneladas anuales. De igual forma, se observa que en el lapso 1990-1996 esta rama de producción creció con una tasa media de crecimiento anual de 25.7%.^{31,37}

México ocupa la 16° posición, aportando el 1.21% del volumen producido mundialmente y se constituye como el segundo productor latinoamericano, después de Brasil.^{4, 7, 11, 31}

En 1990 se produjeron 757.4 mil toneladas y en 1994 esta cifra llegó a 872.9 mil toneladas, representando un crecimiento del 15.3%. En 1995 la producción fue de 921.6 mil toneladas, lo que representó crecimientos del 5.6% respectivamente con relación a 1994, se observó por un lado una fuerte caída de los inventarios y un crecimiento de la producción. En 1999 se produjeron 992.4 mil toneladas, lo que representó un crecimiento del 7.6% respectivamente con relación a 1995.^{4,11,37}

Por entidad federativa, Jalisco, Sonora, Guanajuato, Yucatán, Puebla, Veracruz y Michoacán produjeron el 74.93% de la producción nacional que fue de 992.4 mil toneladas en 1999 siendo en estos estados donde se concentra la producción tecnificada.^{4, 11, 37}

El consumo per cápita de carne de cerdo en México de 1990 a 1999 fue de aproximadamente 10 Kg. por año. Por otra parte cabe resaltar que el consumo per cápita de carnes frías y embutidos está creciendo, pues en 1988 éste fue de 3 Kg. por habitante y en 1994 fue de 4.8 Kg., hoy en día entre un 40 y 50% de la cantidad neta de carne es trasformada en productos cárnicos, con lo cual el consumidor tiene asegurada una variada oferta de productos, de éstos los embutidos representan un 70% y el resto son otros preparados cárnicos, lo cual indica que la tendencia es a consumir más productos procesados y menos carne fresca.^{4, 19, 31, 37}

Sistemas de sacrificio

El sistema de sacrificio para animales de abasto de carne, inicia prácticamente con el transporte de los mismos desde la granja hasta el rastro. El transporte de los animales comprende en sentido amplio la carga en el vehículo, el traslado hasta el matadero, la descarga y, en caso necesario, la recuperación de los animales del estrés ocasionado por el transporte. Se evitará el uso de la violencia, en especial en forma de golpes, pinchazos o procedimientos análogos, el transporte constituye para el ganado de abasto una situación de estrés mas o menos intenso, como consecuencia de la cual pueden registrarse notables mermas en la calidad de la carne. Existen algunos manejos que aplicados en la propia granja y durante el recorrido en el transporte disminuyen notablemente las condiciones de estrés para los animales.²⁹

Sacrificio

Por sacrificio se entiende la muerte indolora de animales por sangrado y la subsiguiente manipulación con adecuado despiece de la canal. El sacrificio de los animales con la finalidad de obtener carne como alimento para el hombre se remonta a los tiempos prehistóricos. Así lo ratifican los hallazgos de huesos de bóvidos y de cerdos de la Edad de Bronce y aun anteriores, lo que indica que estas especies ya servían entonces como animales domésticos y se utilizaban para la obtención de la carne. A lo largo de la historia la obtención de carne ha revestido siempre gran importancia para los pueblos. Los egipcios inspeccionaban y limpiaban aquellos animales que iban a ser ofrecidos a los dioses y ser consumidos por los sacerdotes. Los judíos consideraban el sangrado de los animales religiosamente necesario, ya que Moisés prohibió su consumo, debido a que en la sangre se estimaba que estaba la vida y ésta pertenecía al creador. Mientras que los egipcios y los judíos consideraban como impura la carne de cerdo, los romanos mostraban marcada predilección por ella. En la Edad Media se crearon normas para regular la obtención de la carne, en las cuales sobresalían sobre todo las condiciones higiénicas. En el año de 1276, las disposiciones

municipales de la ciudad de Augsburgo, Austria, prescribieron la realización de los sacrificios en los mataderos públicos, pero en la guerra de los 30 años se perdieron estos adelantos. Fue Napoleón I quien reconoció de nuevo el valor higiénico y practicó de los mataderos públicos ordenando en 1807 la construcción del primero en París. En virtud del reconocimiento prescrito de los animales para abasto y de sus canales en los mataderos industriales, alcanzó un auge importante en las ciudades europeas, y como consecuencia se inició el desarrollo de los modernos mataderos, así como la higiene y tecnología de la carne. Las instalaciones técnicas alcanzaron un nivel máximo entre uno a otro siglo y se reflejó en los sistemas de transporte en el interior, el transporte vertical de las canales, engranajes de ruedas dentadas y grúas, así como calderas dotadas de sistemas de conducción de agua caliente o calentamiento al vapor, mediante estos sistemas de transporte pudo ordenarse y controlarse el curso de los sacrificios. En los cerdos se implementaron los métodos de sangrado, escaldado y depilado por una maquina, la cual se utilizó por primera vez en Alemania en 1910.²⁹

Tecnología del sacrificio

La tecnología del sacrificio comprende todos los trabajos que se realizan en sentido estricto en el curso de la obtención de la carne. En este campo y de acuerdo con el sistema de sacrificio practicado, la mecanización ha alcanzado un nivel más o menos elevado. Antes del sacrificio se evitará toda maniobra que excite o suponga mal trato para ganado de abasto. Los animales deben trasladarse a la nave de sacrificio por el camino más corto y seguro. Antes de introducir los animales en las naves correspondientes, deben tomarse todas las precauciones para su inmediato sacrificio. Para los cerdos se recomiendan pasillos contruidos por diversos segmentos acoplables por los cuales sólo puedan pasar los animales uno tras otro, los cerdos se introducen mejor en la manga discurriendo primero por un corredor de unos 110 cm de anchura, desde el que pasan a través de un estrechamiento a otro pasadizo que primero es de 65 cm de anchura, por el que pueden pasar dos cerdos, uno al lado del otro, para después pasar por un nuevo estrechamiento a un corredor de unos 35 cm de

ancho. Mediante trampillas de seguridad dispuestas en la dirección de marcha se evita el retroceso de los cerdos, se recomienda instalar duchas de agua fría en la parte superior de los pasillos de conducción en los puntos donde estas se estrechan o bien en las cajas de aturdimiento.²⁹

Aturdimiento de los animales

El aturdimiento eléctrico es el método más utilizado en el sacrificio del cerdo en México, los electrodos se colocan en la cabeza, de manera que la corriente eléctrica atraviese el cerebro. Mediante el aturdimiento eléctrico, llevado a cabo con cuidado y aplicando una corriente eléctrica suficientemente intensa se provoca un ataque epiléptico que cursa con pérdida de la conciencia. Como instrumentos se emplean con preferencia pinzas. Respecto a intensidad, tensión y frecuencia de la corriente, existen grandes diferencias. En los aparatos ordinarios se utilizan corriente alterna sinusoidal de 70 a 300 voltios y las posiciones son: oreja – oreja; oreja – ojos; ojo – cuerpo; ojo – corazón; el tiempo de actuación varía en la práctica de algunos establecimientos a otros por término medio de entre 4 y 30 segundos. Por razones de protección de los animales, la pérdida de la sensibilidad y de la conciencia debe producirse en el plazo de escasos segundos. Para conseguir esto hace falta una intensidad de corriente como mínimo de 1.25 amperios, para lograr esto es necesaria una tensión aproximada de 300 voltios.

18,29

Sangría

Después del aturdimiento el sangrado puede efectuarse estando los animales en postura vertical (colgados) o en horizontal (caballetes de sacrificio). El desangrado en el suelo permaneciendo sobre éste los animales, no es admisible por razones higiénicas. Los animales aturdidos se sujetan por una extremidad posterior a la cadena de una brida transportadora y, una vez elevados, se trasladan suspendidos hasta la sección de degüello. Esto se realiza de manera que resulten seccionados los grandes vasos sanguíneos, la actividad cardíaca y el pulso hacen que fluya la sangre por los vasos cortados. Es premisa importante que, en el

momento de que sean cortados los vasos, el corazón esté todavía en acción. La incisión se practica en el cerdo en la región cervical inferior; en este caso, efectuando movimientos transversales con el cuchillo se abre la arteria cervical. El tiempo transcurrido entre el aturdimiento y el degüello debe ser lo más corto posible. Cuanto más largo es este plazo, peor es el grado de desangrado.²⁹

Escaldado y pelado de los cerdos

Por lo regular los cerdos se escaldan, es decir, se someten a un calentamiento húmedo (60-65 °C), con lo cual se afloja la capa externa de la piel (epidermis) y los pelos. Acto seguido se eliminan a maquina epidermis y pelo, aunque la operación también se puede realizar por medio de cuchillos o utensilios de raspado. El tipo de tratamiento tradicional, que hoy sigue utilizándose con mas frecuencia es el escaldado por medio de caldera a 60-62 °C. La duración del escaldado es en promedio de 5-6 minutos, aunque se aplican tiempos mayores y menores. Temperaturas superiores a 60°C garantiza menor crecimiento de gérmenes, de aquí que la temperatura de escaldado se debe mantener entre 61-62°C. Temperaturas demasiado altas provocan la transformación en cola del colágeno cutáneo, con lo que disminuye la capacidad de conservación. Además, a la menor solidez que exhibe la piel, es frecuente que esta sufra desgarros al ser desprovista de pelo en la máquina peladora. A termino de la operación las canales deben chamuscarse en su totalidad para eliminar los pelos y cerdas residuales, al terminar este proceso se comienza el faenado de los cerdos.^{18,29}

Refrigeración de las canales

Para proteger la carne de una rápida descomposición, hay que refrigerarla suficientemente. La conservación de la carne mediante refrigeración obedece a que se retrasa con ello tanto más el crecimiento de los microorganismos, cuanto más se aproxima a la temperatura de almacén (0 °C). Algunos microorganismos pueden multiplicarse a bajas temperaturas, por lo que se debe evitar la refrigeración por largo tiempo. La capacidad de conservación de la carne depende de la higiene del sacrificio. Otro factor importante en la capacidad de

conservación de la canal es la humedad existente en las superficie de las piezas, cuando las canales están secas lo microorganismos prácticamente no pueden multiplicarse porque necesitan de la humedad.²⁹

En la carne de cerdo se ha observado que la alteración conocida con el nombre de carne Pálida, Suave y Exudativa (PSE) se presenta en menor intensidad en las canales que han sido rápidamente enfriadas con relación a las que no lo han sido. Esta circunstancia ha contribuido a desarrollar métodos de refrigeración rápida en cerdos.^{18,29}

Maduración de la carne

Bajo el término de carne muscular se incluye, fundamentalmente, el tejido muscular esquelético, que representan alrededor del 40-50% del peso corporal total. El músculo esquelético está constituido por células filamentosas (fibras musculares), que dispuestas paralelamente una sobre otra dan lugar a los músculos. Las fibras musculares contienen ciertas estructuras fibrilares dispuestas longitudinalmente (miofibrillas) y constituidas a su vez por finas fibras de proteína (filamentos). Las miofibrillas tienen la propiedad de acortarse debido a transformaciones químicas reversibles y con ello hacen posible la contracción muscular. El diámetro de las miofibrillas asciende aproximadamente a $1\mu\text{m}$. Estas estructuras están formadas por unidades estructurales idénticas enlazadas longitudinalmente denominadas sarcómeros, las cuales están separadas unas de otras por medio de delgados discos ópticamente densos (disco Z).²⁹

Entre el tejido muscular *in vivo* y la carne existen algunas diferencias químicas y estructurales derivadas del manejo del animal antes y durante el sacrificio y los procesos bioquímicos post-mortem incluyendo la maduración de la carne.²⁸

Las principales características afectadas por la conversión de músculo a carne son las siguientes: Cantidad de agua, concentración de glucógeno, pH y color de la carne.

Se ha observado que los factores relativos al consumo de agua y condiciones del transporte de los animales influyen notoriamente sobre la capacidad de retención de agua en la carne, la cual también es afectada por la temperatura y tiempo destinado al proceso de maduración.^{3,28}

El agua constituye el 75% del peso del músculo de una canal recién sacrificada, un 7% del contenido de agua del músculo está ligada a las proteínas, mientras el 93% restante está estructuralmente contenida entre los filamentos de actina y miosina.⁸

La cantidad del glucógeno en las células musculares puede disminuir debido a una alimentación inadecuada, el ayuno, la fatiga y la tensión nerviosa del animal, condiciones que favorecen la glucogenólisis mediada por la acción de las catecolaminas adrenales. La glucogenólisis es la degradación enzimática del glucógeno, y representa la primera etapa en la liberación de energía mediante la oxidación de unidades de glucosa (glucólisis).^{27,36}

La estructura del glucógeno y el mecanismo de la glucógenesis son importantes para comprender la conversión de los músculos en carne. Tras una serie de fases en la vía glucolítica, las moléculas con seis átomos de carbono derivadas de las unidades de glucosa del glucógeno se rompen para formar dos moléculas de piruvato, con tres átomos de carbono cada una. Si prevalecen las condiciones aerobias, el piruvato que se forma en el citosol de la fibra muscular penetra en la mitocondria. El citosol es la fase acuosa del sarcoplasma, que se sitúa entre organelos rodeados de membranas tales como las mitocondrias. Tras penetrar en la mitocondria el piruvato es convertido en acetil-CoA. El acetil-CoA se fusiona con el oxaloacetato para formar citrato. El citrato es oxidado posteriormente en una vía circular, llamada ciclo de Krebs o ciclo del ácido tricarbóxico. El ciclo se completa mediante la regeneración de oxaloacetato. Si la actividad del ciclo de Krebs continua está es alimentada por diversos carbohidratos, ácidos grasos y aminoácidos, es el sistema primario, para la generación aerobia de energía. Se obtienen un gran número de moléculas de ATP a partir de ADP mediante una serie de reacciones de fosforilización oxidativa, que tiene lugar en la membrana de las mitocóndrias.³⁶

En condiciones aeróbicas, la formación de dos moléculas de piruvato a partir de una molécula de glucosa-1-fosfato determina la reducción de 2NAD^+ . Así, en algún otro lugar de la fibra muscular, debe ser reoxidado NADH para que continúe la glucólisis. Aerobiamente, esto tiene lugar como consecuencia de la actividad del ciclo de Krebs en las mitocondrias, aunque NADH y NAD^+ no atraviesan realmente la membrana de las mitocondrias. En los músculos vivos anaerobios y en la carne se interrumpe el ciclo de Krebs, y el NADH es reoxidado en el citosol mediante lactato deshidrogenasa durante la conversión de piruvato en lactato. El piruvato no tiene utilidad inmediatamente en condiciones anaerobias porque se ha interrumpido la oxidación mitocondrial, aunque su conversión en lactato asegura un suministro continuado de NAD^+ para que prosiga la glucogenólisis y la glucólisis anaerobia en el citosol.³⁶

La correcta maduración de la carne presupone que ésta fue obtenida de animales sanos y descansados y que fue tratada adecuadamente una vez realizado el sacrificio. Si los animales de abasto no cuentan con reservas de glucógeno muscular, la glucólisis sólo puede cursar de forma limitada. El pH desciende entonces poco o nada, pudiendo registrarse valores de pH final >6.5 a las 24 horas postmortem. Esto supone prácticamente la suspensión de la glucólisis y motiva una pobre capacidad de conservación de la carne. Las causas del bajo contenido de glucógeno de los músculos pueden obedecer a insuficiente aporte de nutrientes (v.gr., en estados de hambre inapetencia, dificultades masticatorias y estados febriles) o a una utilización elevada de glucógeno (esfuerzos corporales intensos, enfermedades). En los animales de abasto es frecuente que coincidan ambas circunstancias; se dejan en ayunas antes de iniciar su transporte hasta el matadero, pese a lo cual debe realizar trabajo muscular. Una sobrecarga estática-mecánica demasiado acusada durante el transporte puede reducir tanto las reservas de glucógeno, que no queden para la maduración de la carne glucosa y glucógeno suficiente como sustrato glucolítico. En los animales para abasto sanos, durante un descanso subsiguiente al transporte pueden movilizarse el glucógeno y trasladarse a los músculos, con lo que entonces al sacrificar a los animales ya

reposados, puede contarse con una satisfactoria maduración de la carne. El manejo brusco de los animales, el empleo de agujones en el cerdo, el exceso de velocidad en sus desplazamientos a pie, la larga duración de los transportes en vehículo pueden ya en el animal vivo originar descensos muy marcados de pH de la sangre y músculos, si se supera la capacidad metabólica aeróbica de estos últimos. El músculo obtiene entonces la energía que necesita a partir de la glucólisis anaerobia, como resultado el glucógeno se desdobra hasta ácido láctico. La concentración de éste aumenta ya en vivo considerablemente y, como consecuencia se registra después del sacrificio un valor bajo de pH, la glucólisis concluye al cabo de pocas horas. Acción similar puede desarrollarse por altas temperaturas ambientales acompañadas de una elevada tensión de vapor de agua. Cuando las canales exhiben por lo general elevadas temperaturas internas y en las masas musculares, la rigidez cadavérica ya se evidencia en la cadena de faenado. Se produce entonces la desnaturalización de las estructuras protéicas de las células musculares. La carne aparece microscópicamente en estado madurado más clara de lo normal, húmeda y de consistencia blanda (carne PSE). En la preparación y tratamiento de las carnes se producen elevadas pérdidas al calentar la carne, separación de la gelatina en las conservas, deficiente aptitud para el curado y muy mala capacidad para fijar agua exógena.^{10,18}

Durante la refrigeración se registran pérdidas por goteo (superiores al 5% del peso de la canal). Si los animales de abasto resultan tan sobrecargados que en el momento del sacrificio la glucólisis todavía sigue aerobia, aunque con las reservas de glucógeno casi agotadas, la maduración de la carne prácticamente se suspende. La carne aparece roja oscura, seca y consistente (carne DFD; del inglés dark, firm and dry). Se corta con dificultad, es viscosa-pegajosa, y como consecuencia del alto pH, se conserva mal. Debido a su extrema capacidad fijadora de agua exógena, se utiliza con preferencia en la elaboración de embutidos escaldados. En cambio está contraindicada para la fabricación de productos curados y embutidos de larga conservación, ya que la carne DFD exhibe unas deficientes condiciones para el curado y conservación del color.

Ambas desviaciones de maduración normal se observan en animales sometidos a engorda intensiva y sensibles al estrés. La carne PSE es particularmente frecuente en el músculo *Longissimus dorsi* de cerdos para abasto, si bien puede hallarse también en todos los demás grupos musculares que sirven para el movimiento de progresión del cuerpo.^{10,18}

En estos cerdos sensibles al estrés, la cantidad de iones Ca^{2+} liberados desde las mitocondrias en anaerobiosis es aproximadamente el doble de la liberada en cerdos resistentes al estrés. Precisamente se ha considerado como una causa desencadenante del proceso PSE esta excesiva liberación de iones Ca^{2+} desde las mitocondrias y la incapacidad del retículo sarcoplásmico para retener estos iones. Además, en el músculo PSE se ha detectado una elevada actividad ATPásica, por otra parte, también se atribuye una cierta importancia a las enzimas glicolíticas, las cuáles se hallan en cantidades elevadas en las carnes PSE. En el suero sanguíneo de cerdos propensos al estrés se han encontrado contenidos mayores de creatinfosfoquinasa. Esta última consideración coincide con el hecho de que, en el instante del sacrificio, el contenido de la creatínfosfato de la musculatura PSE esté disminuido. Esto significaría que el proceso de utilización del glucógeno comienza antes que en una musculatura normal, lo que justificaría el rápido descenso del pH.^{3,29}

La desnaturalización de las proteínas sarcoplásmicas es mayor en la carne PSE, como consecuencia de la combinación de un bajo pH y una temperatura elevada. Estas proteínas precipitan sobre las miofibrillas reduciendo con ello su estabilidad y su capacidad de retención de agua. En cierta proporción, las proteínas miofibrilares pueden resultar, también, desnaturalizadas. Las pérdidas de transparencia y el color pálido de la carne se deben a la mencionada desnaturalización parcial de la carne. El mayor agravante de la carne PSE es la exudación. Este efecto no se debe a un elevado contenido acuoso, sino a que esta agua se encuentra menos ligado a las proteínas y a que la permeabilidad de las células es mayor. La exudación puede, también, explicarse por la

desnaturalización parcial de las proteínas sarcoplásmicas y su precipitación sobre las miofibrilares. La superficie de corte de esta carne es húmeda y con abundante jugo. El calentamiento aumenta la pérdida de líquido y en consecuencia la carne resulta fibrosa y seca. Este efecto es también evidente de los productos cárnicos salazonados, al que hay que sumar el escaso desarrollo del color típico de curado en estos productos.²⁹

Además de que la carne PSE da lugar a problemas de ligazón y de estabilidad en los productos picados así como una textura seca. Los procesos metabólicos acelerados que conducen a la producción de una carne PSE, podrían ser, teóricamente, retardados mediante una rápida congelación con lo cual, las características PSE aparecerían de forma menos manifiesta. Sin embargo por razones de organización, no es posible realizar una congelación de las canales porcinas con la rapidez suficiente como para evitar, de forma efectiva, el desarrollo de las deficiencias PSE. Las características de la carne PSE aparecen principalmente en la musculatura del tronco (lomo) y el jamón, mientras que otras zonas musculares son normalmente menos afectados, Los cerdos grasos dan lugar a carnes PSE con mucha menos frecuencia que los magros. Para la detección de carnes PSE han sido diseñadas varias pruebas. Entre los métodos indirectos se recomiendan el valor pH (1 hora postmortem), la medición de la temperatura de la carne y la determinación de la constante dieléctrica del músculo. El valor de pH es, de los parámetros anteriormente mencionados, el de mayor importancia, ya que está directamente correlacionado con la capacidad de retención de agua. Como métodos directos son considerados la reflectometría para determinación del color, la estimación del agua liberada, y de la firmeza. De ellos, destaca la determinación del agua liberada, dada la importancia de la capacidad de retención de agua en la elaboración de productos cárnicos. La estimación del color permite calcular, en cierta forma, la capacidad funcional para la elaboración de productos salazonados.^{18,29}

Tras la producción de carne, la obtención de ésta y su procesado tiene también una gran importancia económica. Además, una óptima obtención y procesado de la carne exigen un alto estándar higiénico, para poder ofrecer al consumidor carne y productos cárnicos que suponen un riesgo sanitario mínimo. Por ello la higiene tiene que estar completamente integrada en la moderna tecnología de los alimentos.³¹

Características tecnológicas de calidad de la carne

La calidad deseada de la carne de cerdo fresco se define como una combinación de factores que proveen un producto comestible, nutritivo y saludable después de su proceso y almacenamiento; en condiciones de proceso, debe ser atractivo en apariencia, apetitoso y palatable después del cocimiento. Además, la calidad debe de ser consistente.⁵

El valor nutritivo de la carne se debe a sus proteínas, grasas, carbohidratos, vitaminas y minerales. Aunque la carne proporciona calorías a partir de las proteínas, de las grasas y de las limitadas cantidades de carbohidratos que posee, su contribución principal a la dieta deriva de la gran cantidad y calidad de sus proteínas, del aporte disponible de vitaminas B y de ciertos minerales, y de la presencia de ácidos grasos esenciales.¹³

Existen primordialmente tres conceptos para evaluar la calidad de la carne de cerdo. El valor nutritivo, su inocuidad y el sabor. Estas cualidades deben ser óptimas para que las necesidades del consumidor sean satisfechas ampliamente. La carne debe presentar un color rosáceo rojizo, una superficie libre de exudado y una consistencia firme un buen olor después del proceso de cocción, así como un sabor agradable y una textura característica. El aspecto nutricional tiene una gran importancia, la carne de cerdo debe de aportar proteínas que contengan una combinación adecuada de amino ácidos esenciales con disponibilidad biológica, vitaminas hidrosolubles (tiamina), minerales (hierro y zinc) y lípidos de alta energía (ácidos grasos esenciales). La inocuidad se refiere a la seguridad que pueda proporcionar el producto para su consumo humano, la cuál se encuentra influenciada por varios factores tales como: el estado de salud del animal, las técnicas de manejo antes y después del sacrificio, así como un buen manejo y refrigeración de la canal.^{18,24}

Las características tecnológicas de la carne se refieren a la composición fisicoquímica de la carne y sus propiedades como son: pH inicial y final, capacidad de retención de agua (WHC; por sus siglas en inglés water, holding, capacity), homogeneidad del color, etc. Las cualidades sensoriales involucran apariencia (principalmente color y marmoleo) y textura (incluye terneza y jugosidad). Muchas de estas propiedades son influenciadas por cambios postmortem, el pH aparece como una de las más importantes causas de variación de la calidad tecnológica de la carne. ^{18,27}

La degradación del ATP genera la acumulación de fosfato inorgánico que a su vez estimula el desdoblamiento de glucógeno y por vía anaeróbica, la producción de ácido láctico, provocando la disminución de pH que alcanza un valor final cercano a 5.5 e impide la proliferación de microorganismos retardando la descomposición de la carne. Durante el proceso postmortem, el valor del pH de 7 disminuye al valor último de pH final que es 5.5. ^{10,23}

Este descenso cambia la carga entre las miofibrillas y desde aquí también el espacio entre ellos. El punto isoeléctrico para las proteínas estructurales es de 4.7 para actina y 5.4 para miosina. En esta región la capacidad de retención de agua es mínima como es la carga eléctrica, dando menor espacio entre los miofilamentos, con pH de altos o bajos niveles el incremento de la capacidad de retención de agua, como una consecuencia de cargas positivas o negativas y repulsiones de los miofilamentos. ⁹

El descenso del pH ocasiona además la desnaturalización protéica y la liberación de enzimas hidrolíticas de los lisosomas que degradan las proteínas a péptidos y posteriormente a aminoácidos, con lo cual la carne pierde su textura y capacidad de retención de agua. Puesto que el pH tiene gran importancia en el crecimiento microbiano, es natural que el pH final de la carne sea uno de los principales factores determinantes de la conservabilidad. El pH óptimo para el crecimiento de

la mayoría de las bacterias se halla próximo a 7, no creciendo bien a valores de pH inferiores a 4 o superiores a 9.^{21,22,28}

Se debe de tener en cuenta que los trastornos sufridos durante el transporte influyen sobre la calidad de la carne, lo que es atribuible a la excitación, acaloramiento o cansancio de los animales. En esos casos se agotan las reservas musculares de glucógeno, como consecuencia de lo cual se instaura una rápida rigidez cadavérica subsiguiente al sacrificio, resultado insuficiente de la acidificación de la carne.³²

Color muscular

Los músculos usados para el mantenimiento de la postura del cerdo pueden aparecer más oscuros que los músculos usados para la locomoción rápida, porque los primeros contienen unas fibras con una concentración elevada de mioglobina.³⁶

Los cerdos que se mantienen inmovilizados en un chiquero pequeño pueden producir un nivel de mioglobina inferior al normal. Los músculos de los cerdos criados con una temperatura constante contienen más mioglobina que los de cerdos criados con temperaturas fluctuantes.³⁶

Las fibras musculares con una elevada concentración de mioglobina pueden ser casi totalmente aerobias, o pueden gozar de una doble capacidad aerobia-anaerobia. Los músculos pálidos de la canal, por el contrario, suelen contener una mayor proporción de fibras anaerobias con altos niveles de glucógeno almacenado (a menos que se agote por ejercicios) y vías apropiadas para la conversión rápida de piruvato en lactato. En los músculos vivos el umbral del lactato, o carga de trabajo con las que comienza a acumularse lactato, aumenta en proporción con el porcentaje de fibras aerobias. Las fibras con una contracción lenta son predominantemente aerobias. Así, el color muscular suele aparecer relacionado con la actividad ATPasa, de forma que un color rojo oscuro suele indicar actividad

ATPasa lenta. El músculo *longinissimus dorsi* del cerdo es una excepción sobre esta regla. Las diferencias de color en los músculos del cerdo pueden estar relacionadas con diferencias en el metabolismo postmortem de los músculos. Las diferencias en la concentración de mioglobina entre los distintos tipos de fibras son menos manifiestas en especies con carne uniforme oscura. Así, el problema que suponen los tajos de carne con un color abigarrado solamente se aprecian en la carne de cerdo. En determinados músculos de una misma región pueden apreciarse diferencias de color entre las razas porcinas.^{25,36}

En los músculos del cerdo las fibras con mayor actividad aerobia se agrupan hacia el centro de cada fascículo, las fibras aerobias centrales contienen la mayor parte de la mioglobina presente en la carne de cerdo. Los músculos del ganado vacuno tienen un mayor contenido de mioglobina que los músculos del cerdo y casi todas las fibras musculares bovinas contienen, al menos, algo de mioglobina.³⁶

El color de la carne experimenta cambios postmortem. Los músculos exhiben primero coloración roja entre clara y oscura y aspecto vidrioso transparente. Al descender el pH se desnaturaliza parte de las proteínas musculares, como consecuencia de lo cual los componentes celulares exentos de pigmento se van modificando poco a poco y, como componentes estructurales de la carne, se tornan más claros y ópticamente más densos. Por ello la carne exhibe color rojo claro, uniforme y opaco.¹⁰

La carne que retiene agua en forma adecuada es firme y tiene un color normal, este producto es ideal para la elaboración de productos cárnicos. Un producto que tiene un color demasiado oscuro tiende a ser discriminado por ciertos consumidores, y es probable que este producto tenga una vida de anaquel menor que la carne con una coloración normal. Existen francas diferencias entre los grupos musculares de una canal, por ejemplo los músculos de las espaldillas rara vez exhiben carne pálida, suave y exudativa, mientras que los lomos y los

jamones son muy sensibles a esta condición por lo tanto es esencial que una evaluación de la canal incluya mediciones de estas áreas musculares.²⁸

El color y marmoleo muscular son características propuestas como parámetros de calidad de la carne de cerdo. La carne de la canal de cerdo fresca debe ser de un color rojizo rosáceo. Los músculos individuales son usualmente uniformes de color, pero los músculos en conjunto muchas veces varían considerablemente en color.⁵

Los cinco rangos de color, textura muscular y condiciones de humedad corresponden a las siguientes claves según el Consejo Nacional de Productores de Carne de Cerdo de Estados Unidos.

Rango 1: Extremadamente pálido, muy suave y húmedo.

Rango 2: Moderadamente pálido, suave y húmeda.

Rango 3: Rojizo rosáceo o normal, un poco firme y jugosa.

Rango 4: Moderadamente oscura, firme y moderadamente seca.

Rango 5: Extremadamente oscura, muy firme y seca.

Marmoleo

La presencia de grasa en la carne es muy variable (puede oscilar entre un 0.5% y un 25%, o incluso un contenido mayor). La carne magra contiene alrededor de un 5% de grasa. La grasa intramuscular no se diferencia de la grasa de depósito, aunque puede contener mayor cantidad de ácidos grasos insaturados. El depósito de la grasa muscular ocurre en el tejido conjuntivo y es visible en forma de veteado. La cantidad de fosfolípidos presentes en el músculo oscila entre 0,4 y un 1%.²⁹

Últimamente se ha puesto gran atención en el contenido del marmoleo ya que la grasa mejora la calidad de la carne. La correlación entre la concentración de marmoleo y los puntos por degustación de un panel son generalmente bajos pero

positivos indicando que terneza y jugosidad son mejorados por el marmoleo. El óptimo nivel de grasa intramuscular predicho por varios autores puede variar de 2.5% a más. En nuestros días, en la mayoría de los países europeos, la carne contiene menos del 2% de grasa intramuscular.³⁰

Los recientes resultados sugieren que los niveles absolutos de marmoleo podrían ahora ser por abajo del umbral al cual los consumidores pueden detectar diferencias en la calidad de la carne y que la concentración de grasa intramuscular no puede exceder del 2% para que los consumidores detecten los beneficios de la calidad de la carne. En este tiempo compañías que venden pie de cría comercial están buscando técnicas para medir grasa intramuscular de animales vivos y marmoleo de la carne. Aunque la grasa intramuscular aumenta con el total del marmoleo, esto se considera para criar variaciones de animales de pelo oscuro que generalmente tienen altos valores en relación con espesor de la grasa dorsal en esto la raza Duroc aparenta tener la mayor concentración de grasa intramuscular.^{1,3,12,16,30}

Marmoleo, es la grasa visible entre las fibras musculares. Existen cinco rangos según el Consejo Nacional de Productores de Carne de Cerdo de Estados Unidos.

- 1.- Marmoleo inexistente a marmoleo casi inexistente.
- 2.- Una que otra fibra de marmoleo a pocas fibras de marmoleo.
- 3.- Pocas fibras de marmoleo a modesta cantidad de marmoleo.
- 4.- Marmoleo moderado a moderado poco abundante.
- 5.- Marmoleo moderadamente abundante a mucha cantidad de marmoleo.

Terneza

La terneza es probablemente el más importante componente de la calidad de la carne, ésta es una buena evidencia que la producción de cerdo magro es contraria afectando la terneza por mecanismos que afectan los resultados de marmoleo.
1,3,12,16,30,33

El ser apto para el procesamiento se refiere a que el cerdo tenga una merma mínima. Esto está relacionado a la humedad muscular. Su atractivo se determina en gran parte por el color y la apariencia estructural del músculo, que sea libre de fluidos en la superficie y conveniente para uso como alimento (en tamaño del corte, cantidad del hueso, etc). Las características de palatabilidad incluyen el sabor, suavidad, textura y jugosidad de la carne.⁵

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La carne de cerdo cuenta con ventajas competitivas con relación a otro tipo de carnes, siendo la principal el valor nutritivo, su palatabilidad y el precio relativamente accesible para su consumo.

El consumidor necesita básicamente seguridad para incrementar el consumo de carne de cerdo, ya que le preocupa mucho saber de donde proviene la carne que está consumiendo, el manejo que se da durante el sacrificio, la higiene del proceso, la transportación y el almacenamiento de la carne.²

En la gran mayoría de los rastros rústicos y municipales, no se tienen controles tendientes a mantener la calidad, la cual se ve afectada por el poco tiempo de descanso dado a los animales antes del sacrificio, no se cuentan con instalaciones, como embarcaderos, los corrales de recepción están mal diseñados al igual que los pasillos y las áreas de sacrificio, el material para insensibilizar es inadecuado o inexistente, los métodos de sacrificio son incorrectos, el proceso de faenado de la canal es poco higiénico, los métodos de conservación y transporte no son los más propicios.²¹

Cuando el proceso para la obtención de la carne no es el adecuado, las canales se ven afectadas en sus características tecnológicas de calidad. En las empacadoras las canales de mala calidad son rechazadas.^{10, 29, 31}

JUSTIFICACIÓN

El concepto calidad de la carne sin duda supone diferentes características, dependiendo principalmente si éstas son definidas por productores, industria o consumidores. Para productores el criterio final es tener alta rentabilidad, la cual es alcanzada en la producción donde los animales tienen un alto índice de ganancia diaria de peso y mayor rendimiento de las canales con aumento del contenido de carne magra. La composición de la canal por lo tanto constituye un aspecto importante en la calidad de la carne que implica las proporciones de carne magra, hueso, grasa de la canal, así como el tamaño y distribución de músculos individuales. En la industria de la carne, el objetivo principal es la calidad tecnológica o funcional de la carne; ésta incluye parámetros como pH, color, capacidad de retención de agua, rendimiento tecnológico, composición química, entre otras. Para el consumidor la calidad sensorial de la carne es un aspecto importante. Los consumidores también prefieren carne con alta calidad nutricional con una aceptable calidad higiénica, asociadas a valores ecológicos, éticos y etnológicos.⁵

Por otra parte el Estado de Jalisco es el principal productor de carne de cerdo del país, tan solo en 1999 se produjeron 188.6 mil toneladas de carne fresca, lo que representó el 19% de la producción nacional. Esto hace que sea realmente necesario realizar estudios que nos permitan conocer la situación sobre el concepto de calidad que tiene nuestra industria porcícola.⁷

HIPOTESIS

Las características tecnológicas de calidad de la carne de cerdo, son influenciadas entre otros eventos (v. gr., genética, nutrición, etc.) por el manejo antemortem y los métodos de sacrificio aplicados. Por lo tanto, la utilización de métodos de sacrificio más tecnificados y humanitarios repercutirán en carnes con características de mayor calidad.

OBJETIVOS

General

Establecer diferencias de calidad tecnológica de la carne de cerdo con relación a tres diferentes tipos de sacrificio.

Particulares

1. Establecer diferencias en calidad tecnológica de la carne (pH y color) según el grado de tecnificación del rastro (rústico, semitecnificado y TIF); observando la recepción y el descanso de los animales, método de sacrificio, obtención y almacenaje de las canales.
2. Determinar la frecuencia de carne Pálida, Suave y Exudativa (PSE), de acuerdo al tipo de sacrificio.
3. Establecer diferencias de marmoleo de la carne tomando en cuenta la región porcícola de donde provienen los animales sacrificados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Animales

El presente estudio se realizó considerando 300 muestras de carne de cerdo para abasto de líneas comerciales de entre 90 y 110 kg de peso. La muestra total incluyó 100 muestras de carne del rastro Las Juntas municipio de Tlaquepaque, Jalisco, en este rastro se sacrificaron animales de la Región Porcícola Centro, la cuál tiene como cabecera municipal a el municipio de Zapopan; 100 muestras de carne del rastro del Rancho Cofradía de la Universidad de Guadalajara ubicado en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, los animales sacrificados en este rastro son del mismo Rancho y pertenece a la Región Porcícola Centro; y 100 muestras de carne del rastro de la empresa Kekén municipio de Pénjamo, Guanajuato, las muestras fueron tomadas de animales que provenían de la Región Porcícola Altos Norte, la cuál tiene como cabecera municipal el municipio de Lagos de Moreno.⁶

Toma de muestras

Las mediciones de las características tecnológicas de la carne a considerar fueron: pH de la carne a los 45 minutos postmortem, color y marmoleo de la carne. Las medidas de pH fueron tomadas de un trozo de 100 g del músculo dorsal largo al nivel de la 4ta. vértebra lumbar usando un potenciómetro para carnes (PK₂₁NWK-BINAR®).^{14,15.}

Las mediciones subjetivas de color y marmoleo de la carne se hicieron de la misma región donde se hizo la medición de pH. Dichas mediciones se efectuaron por tres panelistas usando la escala para color y marmoleo de 5 puntos descritas por el Consejo Nacional de Productores de Carne de Cerdo de E.U.A.^{9,26}

Tipo de sacrificio

El rastro de Las Juntas es considerado como rastro rústico por no contar con equipo en el proceso de sacrificio, obtención y conservación de la canal, el rastro del Rancho Cofradía es considerado como rastro semitecnificado por contar con insensibilización previa al sacrificio, escaldado, depilado y cámaras frigoríficas en el proceso de obtención de la canal y el rastro de la empresa Kekén es considerado como rastro tipo inspección federal (TIF).

Rastro las Juntas

Los cerdos sacrificados en este rastro son transportados en vehículos inadecuados y sin divisiones que eviten que los animales se golpeen, se emplean agujones eléctricos para el acarreo de los animales, los animales son manejados con premura en sus desplazamientos, se desconoce el tiempo de dietado de los animales, éstos no cumplen con el reposo debido ya que del desembarque sólo esperan su turno para ser sacrificados. No se efectúa insensibilización, los animales son sacrificados por punción cardíaca, el sangrado y la muerte del animal se realiza en el piso del área de sacrificio, no se realiza escaldado. El faenado y la obtención de la carne se realiza sobre el suelo, no se cuenta con cámaras de refrigeración y al terminar la obtención de la canal se transporta al sitio donde va a ser comercializada la carne por los mismos vehículos en los que llegaron los animales vivos.

Rastro Cofradía

Los animales a sacrificar en ocasiones son mezclados con animales de diferentes corrales, cuentan con reposo y sólo ingieren agua 12 horas previas al sacrificio, los cerdos son insensibilizados con shock eléctrico, de oreja - oreja con 120 volts durante 11 segundos, el sacrificio es por punción cardíaca, el sangrado es en el suelo, el escaldado se realiza a una temperatura de 62° C por aproximadamente 3 minutos. El proceso de faenado se efectúa en mesas de trabajo para después de obtenida la canal se almacena en cámaras frigoríficas a una temperatura de 2° C.

Rastro Kekén

Los animales a sacrificar en este rastro son transportados en camiones con jaulas, en cada jaula se transportan 5 ó 6 animales dependiendo el peso, son manejados de manera adecuada por personal capacitado para estas labores, al llegar al rastro los animales cuentan con un reposo previa al sacrificio de 18 a 22 horas y sólo ingieren agua en este tiempo, los corrales de descanso están techados y con aspersores, después del tiempo de descanso los animales son trasladados a través de pasillos bien diseñados hasta el lugar del sacrificio de los cerdos, éstos son insensibilizados con shock eléctrico, de oreja - frente a 280 volts durante dos ó dos segundos y medio, el sacrificio es por punción en la arteria cervical y se realiza 20 segundos después del shock eléctrico, el sangrado es aéreo, el escaldado se realiza a una temperatura de 60° C por 6 minutos, al termino de esta operación las canales se flamean en su totalidad para eliminar cerdas residuales. El proceso de faenado se efectúa en una línea aérea de sacrificio. Obtenida la canal es almacenada en cámaras frigoríficas a una temperatura de 5° C ya habiendo transcurrido 28 minutos del sacrificio de los animales y se mantiene ahí por 16 horas, tiempo en que comienza el proceso de despiece.

Análisis estadístico

Para el mejor análisis de los datos, las mediciones de pH a los 45 minutos se clasificaron en tres rangos; pH bajos que serán menor o igual a 6.0, pH medio que será de 6.01 a 6.40 y pH alto que serán mayor que 6.41 como lo describe Fahlhaber.^{3,10}

El análisis de los resultados fue realizado por una prueba de χ^2 comparando en una tabla de contingencia 2 X 3 (2 rastros X 3 niveles de las variables) las características pH a los 45 minutos, color y marmoleo de las carnes en los diferentes sistemas de sacrificio; según la formula:³⁴

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

Donde:

Σ ; Sumatoria total.

O_{ij} ; representa la frecuencia observada.

E_{ij} ; representa la frecuencia esperada.

Se realizó una prueba de t de Student sobre los valores de pH a los 45 minutos de las muestras de carne clasificadas de cada rastro; de acuerdo a la formula: ³⁵

$$tc = \frac{X - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

Donde:

tc ; valor de t calculado.

$X - \mu$; diferencia de las medias.

S ; varianza de la muestra.

n ; tamaño de muestra.

Se realizó la correlación lineal simple entre pH y color de las carnes clasificadas de los diferentes sistemas de sacrificios. ³⁵

$$r = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}}$$

Donde:

r ; coeficiente de correlación lineal simple.

n ; tamaño de la muestra.

Σ ; sumatoria.

X ; pH.

Y ; color.

RESULTADOS

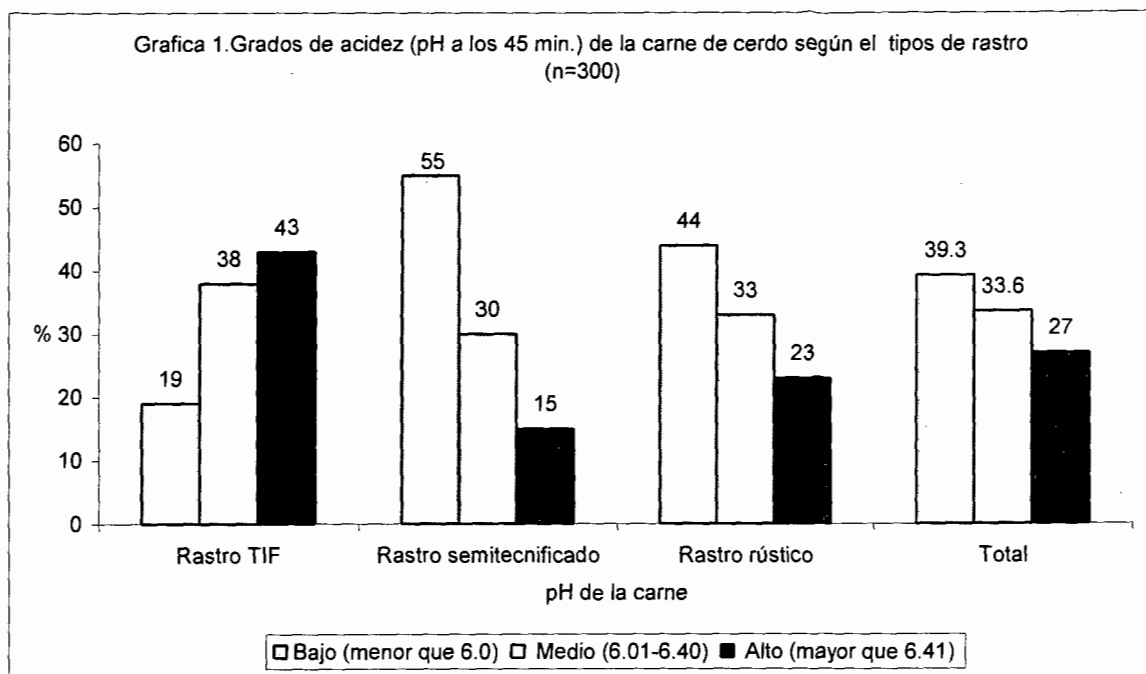
La comparación de los grados de acidez (pH) de la carne de cerdo a los 45 minutos según el tipo de sacrificio se realizó mediante un cuadro de contingencia, tomando pares de rastros para su análisis estadístico, presentado en el cuadro 1. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.005$) entre el rastro TIF contra los rastros semitecnificado y rústico, siendo estos dos últimos iguales. En el grado de acidez bajo (pH <6.0) de la carne, el rastro semitecnificado mostró 55 muestras y el rastro rústico 44 muestras, siendo superiores al rastro TIF el cuál mostró solamente 19 muestras. En el grado de acidez medio (pH 6.01-6.4) de la carne los resultados fueron muy similares, el rastro TIF mostró 38 muestras, el rastro semitecnificado 30 muestras y el rastro rústico 33 muestras. En el grado de acidez alto (pH >6.41) de la carne, el rastro TIF fue muy superior con 43 muestras mientras que el rastro semitecnificado mostró 15 muestras y el rastro rústico 23 muestras. De un total de 300 muestras de carne estudiadas 118 presentaron valores de acidez bajo (pH <6.0) lo que representó el 39.3%; 101 muestras presentaron valores de acidez media (pH 6.01-6.4) lo que representó el 33.6% y 81 muestras presentaron valores de acidez alta (pH >6.41) lo que representó el 27% (Cuadro 1 y Gráfica 1).

Cuadro 1. Grados de acidez (pH a los 45 minutos) de la carne según el tipo de rastro (n=300)

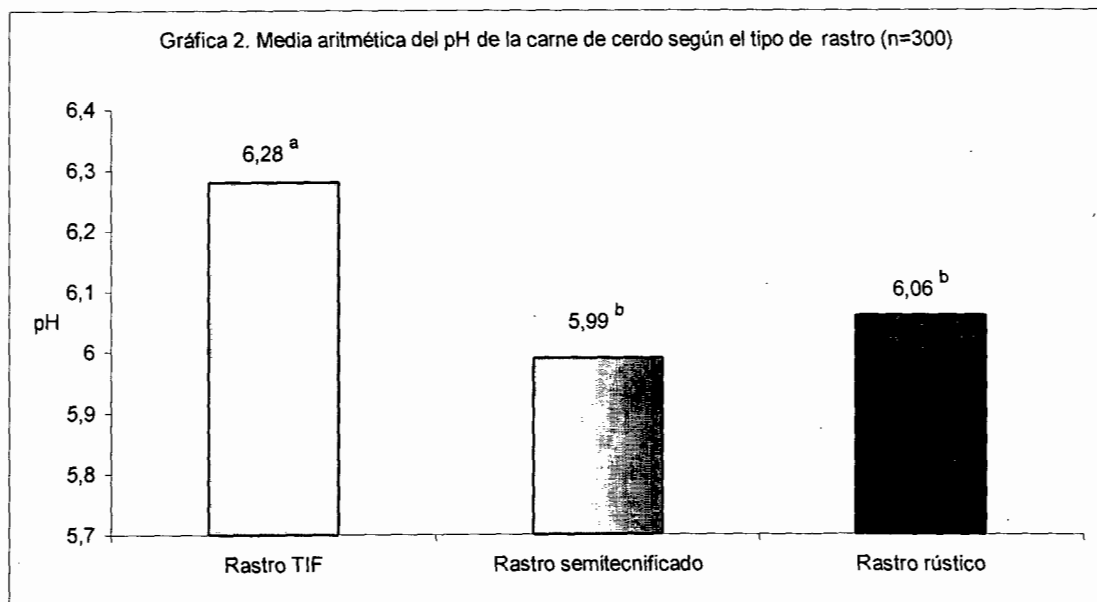
pH	Rastro TIF*	Rastro Semitecnificado	Rastro Rústico	Total de la Muestra	%
Bajo (<6.0)	19 ^a	55 ^b	44 ^b	118	39.3
Medio (6.01-6.4)	38 ^a	30 ^b	33 ^b	101	33.6
Alto (>6.41)	43 ^a	15 ^b	23 ^b	81	27
Total de muestra	100	100	100	300	100

Literales diferentes muestran diferencia significativa ($P < 0.005$).

*TIF = Rastro Tipo Inspección Federal.

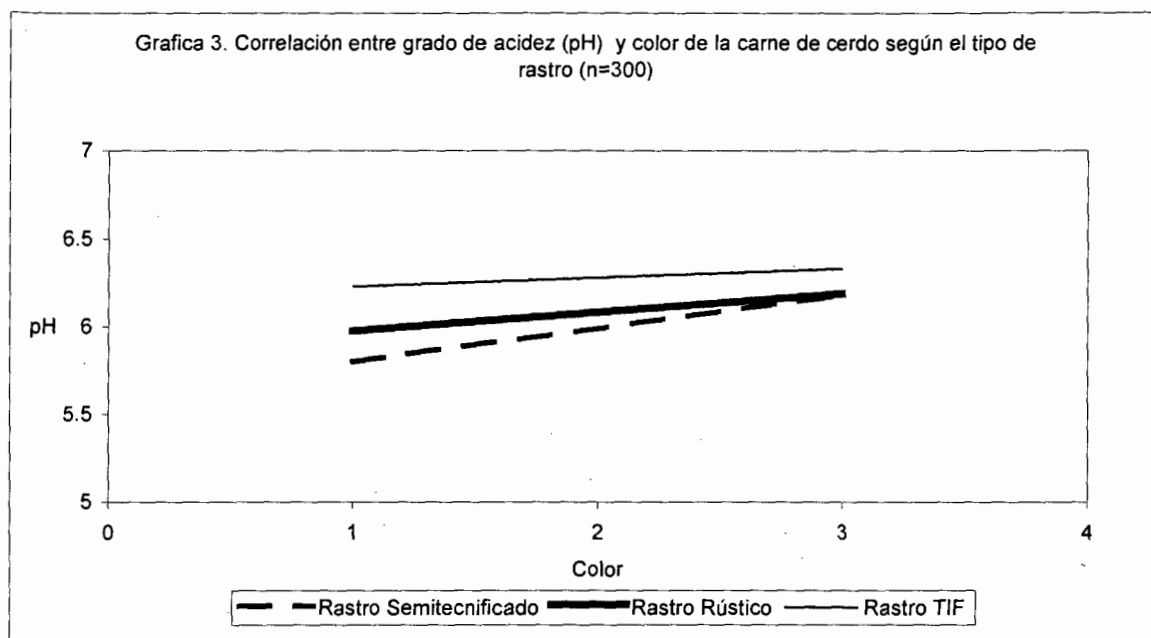


En la gráfica 2 se observa la media aritmética de las muestras de carne clasificadas de acuerdo a su pH a los 45 minutos, se realizó una prueba t de Student y se encontró una diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.001$), entre la media del rastro TIF (pH 6.28), en comparación a los rastros semitecnificado (pH 5.99) y rústico (pH 6.06).



Literales sobre el valor de la media indican diferencias significativas ($P < 0.001$).

Al correlacionar el grado de acidez (pH) con la graduación del color de la carne, se observó que a valores menores de pH correspondió un descenso de pigmentación de la carne, ($P < 0.005$) en el rastro TIF se observó una correlación de $r = 0.2446$, en el rastro semitecnificado se observó una correlación de $r = 0.3321$ y en el rastro rústico se observó una correlación de $r = 0.3567$ (Gráfica 3).



La comparación de las frecuencias de color de la carne de cerdo según el tipo de sacrificio se realizó mediante un cuadro de contingencia, tomando pares de rastros para su análisis estadístico, presentado en el cuadro 2. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.01$) entre el rastro TIF contra los rastros semitecnificado y rústico, siendo estos dos últimos iguales. La frecuencia de color extremadamente pálido de la carne en el rastro semitecnificado mostró 27 muestras y el rastro rústico 29 muestras, siendo superiores al rastro TIF el cuál mostró 11 muestras. La frecuencia de color moderadamente pálido de la carne fue superior en el rastro TIF con 67 muestras, el rastro semitecnificado 50 muestras y el rastro rústico 47 muestras. La frecuencia de color normal (rojo rosáceo) de la carne fue muy similar entre rastros, el rastro TIF mostró 22 muestras, el rastro semitecnificado mostró 23 muestras y el rastro rústico 24 muestras. De un total de 300 muestras de carne estudiadas 67 muestras

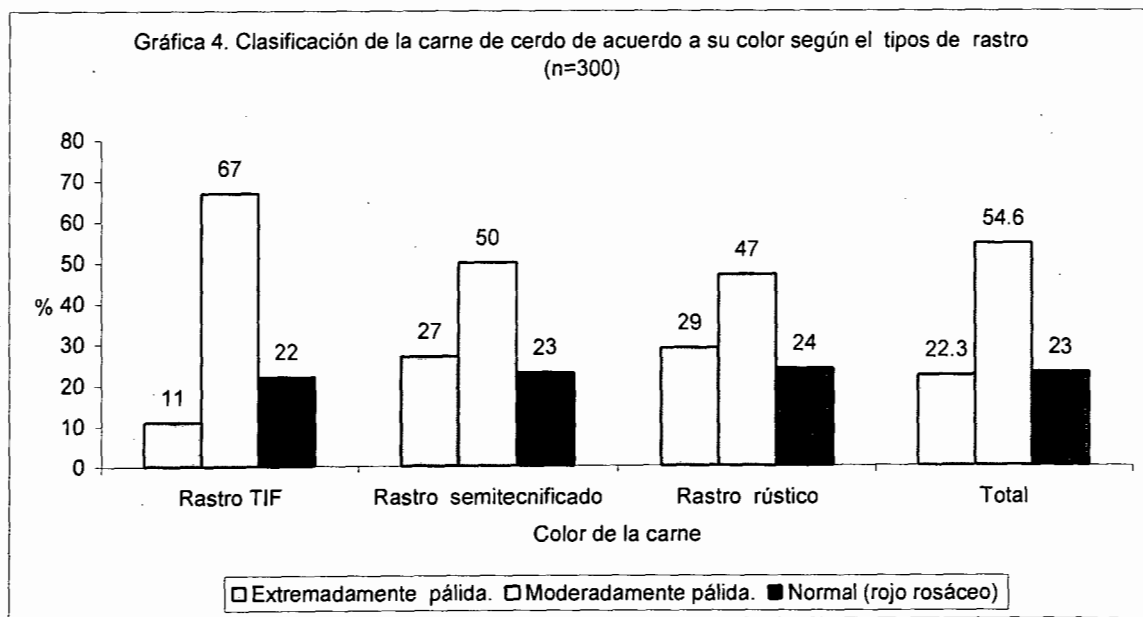
presentaron color extremadamente pálido lo que representó el 22.3%; 164 muestras presentaron color moderadamente pálido lo que representó el 54.6% y 69 muestras presentaron color normal (rojo rosáceo) que representó el 23% (Cuadro 2 y Gráfica 4).

Cuadro 2. Clasificación de la carne de cerdo de acuerdo a su color según el tipo de rastro (n=300)

Color	Rastro TIF*	Rastro Semitecnificado	Rastro Rústico	Total de la Muestra	%
Extremadamente pálido	11 ^a	27 ^b	29 ^b	67	22.3
Moderadamente pálido	67 ^a	50 ^b	47 ^b	164	54.6
Normal (rojo rosáceo)	22 ^a	23 ^b	24 ^b	69	23
Total de la muestra	100	100	100	300	100

Literales diferentes muestran diferencia significativa ($P < 0.01$).

*TIF = Rastro Tipo Inspección Federal.



La comparación del grado de marmoleo de la carne se realizó mediante un cuadro de contingencia, tomando pares de rastros para su análisis estadístico, presentado en el cuadro 3. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.005$) entre el rastro TIF y el rastro rústico donde el grado de marmoleo inexistente de la carne fue superior en el rastro rústico con 77 muestras, mientras que en el rastro TIF se observaron 46 muestras. Para el grado de marmoleo pobre de la carne fue superior el rastro TIF con 44 muestras mientras que en el rastro rústico se observaron 20 muestras. Para el grado de marmoleo moderado de la carne fue superior el rastro TIF con 10 muestras mientras que en el rastro rústico se observaron sólo tres muestras. De un total de 300 muestras de carne estudiadas 187 muestras presentaron marmoleo inexistente lo que representó el 62.3%; 94 muestras presentaron marmoleo pobre lo que representó el 31.3% y 19 muestras presentaron marmoleo moderado que representó el 6.3% (Cuadro 3 y Gráfica 5).

Cuadro 3. Grado de marmoleo de la carne de cerdo (n=300)

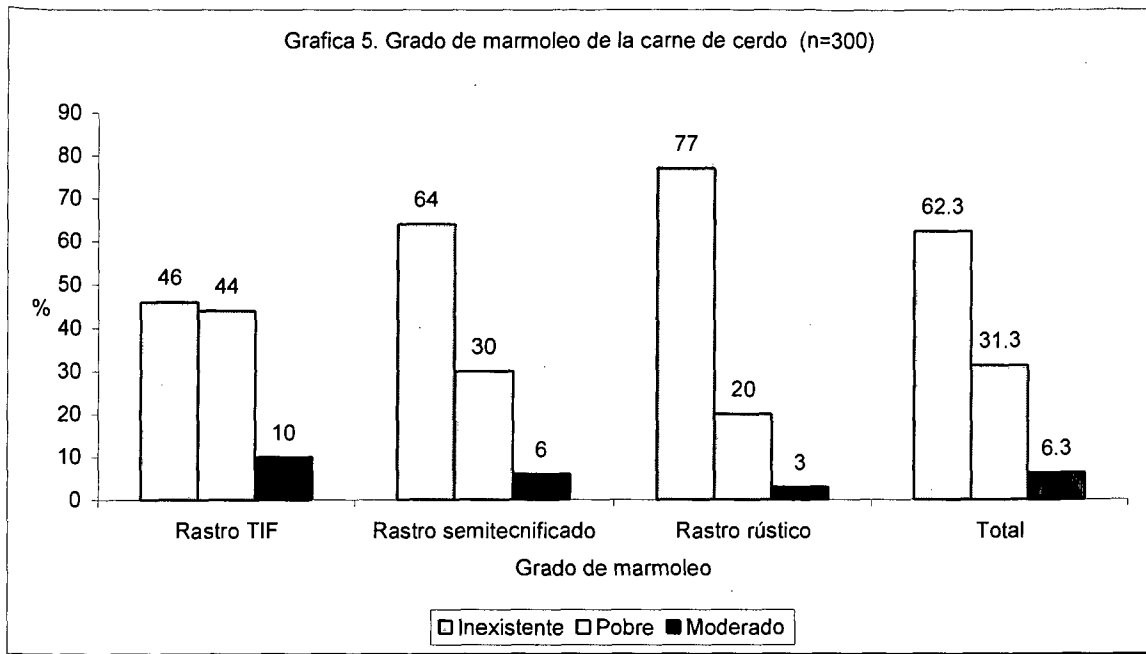
Marmoleo	Rastro TIF*	Rastro Semitecnificado**	Rastro Rústico**	Total de la Muestra	%
Inexistente	46 ^a	64 ^{ab}	77 ^b	187	62.3
Pobre	44 ^a	30 ^{ab}	20 ^b	94	31.3
Moderado	10 ^a	6 ^{ab}	3 ^b	19	6.3
Total de la muestra	100	100	100	300	100

Literales diferentes muestran diferencia significativa ($P < 0.005$).

*TIF = Rastro Tipo Inspección Federal.

* Región Porcícola Altos Norte.

** Región Porcícola Centro.



DISCUSIÓN

Las características tecnológicas de calidad de la carne de cerdo, varían considerablemente según el tipo de manejo que se le dio al animal y a la canal en los diferentes tipos de sacrificios.

La medición del pH de la carne a los 45 minutos arrojó diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.005$) entre el rastro TIF y los rastros semitecnificado y rústico, lo cual pudo deberse a que en los dos últimos rastros, al ser sometidos los cerdos a situaciones más intensas de estrés, utilizan mayor glucógeno muscular como fuente primaria de energía disponible. Los cerdos sometidos a estímulos estresantes producen una rápida glucólisis, síntesis de ATP y excesiva formación de lactatos. Esta actividad metabólica se asocia con un aumento súbito de la temperatura muscular a 42.5°C .²⁷

En el rastro rústico el valor de acidez bajo ($\text{pH} < 6.0$) podría ser debido al estrés que los animales presentaban antes de ser sacrificados, esté causado por la posible ausencia de dietado de los animales antes de ser transportados, el manejo brusco de los animales, el empleo de agujones eléctricos, la rapidez en sus desplazamientos, el poco o nulo descanso de los animales antes del sacrificio, el tipo de sacrificio sin insensibilización previa, el tipo de sangrado en el piso y la forma en que se obtuvo la canal. Las causas del bajo contenido de glucógeno de los músculos pueden obedecer al aporte insuficiente de nutrientes (v. gr., en estados de hambre, inapetencia, dificultades masticatorias y estados febriles) o a una utilización elevada de glucógeno (esfuerzos corporales intensos y enfermedades). En los animales de abasto es frecuente que coincidan ambas circunstancias; se dejan en ayunas antes de iniciar su transporte hasta el matadero, pese a lo cual debe realizar trabajo muscular. Una sobrecarga estática-mecánica demasiado acusada durante el transporte puede reducir las reservas de glucógeno, de manera que sean insuficientes los contenidos de glucosa y glucógeno como sustrato para la correcta maduración de la carne.¹⁰

En el rastro semitecnificado los animales contaron con un reposo de 12 horas y sólo ingirieron agua antes del sacrificio, aún así, un gran número de muestras presentaron el grado de acidez bajo ($\text{pH} < 6.0$) en la carne, esto pudo deberse a que se mezclaron cerdos de diferentes corrales y algunos sufrieron estrés por haberse sometido a peleas por jerarquías además la insensibilización y el escaldado podrían no haberse llevado a cabo como se recomienda en algunos reportes, ya que se podrían haber excedido en los tiempos de insensibilización y escaldado. El desangrado se hizo por punción cardíaca en el suelo, esto evitó el buen desangrado de los animales y la obtención de la canal fue hecha en mesas de trabajo, después del despiece de ésta, los cortes fueron colocados en cámaras de refrigeración ($2\text{ }^{\circ}\text{C}$).^{17, 18, 29}

En el rastro TIF sólo el 19% de la carne mostró una acidez baja ($\text{pH} < 6.0$), la cual pudo deberse al buen manejo antemortem de los animales, esto fue posible gracias a las adecuadas instalaciones, que también permitieron que las canales fueran refrigeradas en cámaras a 5°C después de haber transcurrido 28 minutos de sacrificio, beneficiando la calidad de la carne al hacer más lentos los procesos enzimáticos postmortem y evitar la rápida caída del pH .^{18, 29}

En lo que respecta a las frecuencias de color de la carne de cerdo, se encontró una diferencia significativa ($P < 0.01$) entre el rastro TIF contra los rastros semitecnificado y el rústico.

En el suero sanguíneo de cerdos propensos al estrés se han encontrado contenidos mayores de creatinfosfoquinasa. Esta última consideración coincide con el hecho de que, en el instante del sacrificio, el contenido de la creatinfosfato de la musculatura PSE esté disminuido. Esto significaría que el proceso de utilización del glucógeno comienza antes que en una musculatura normal, lo que justificaría el rápido descenso del pH . La desnaturalización de las proteínas sarcoplásmicas es mayor en la carne PSE, como consecuencia de la combinación de un bajo pH y una temperatura elevada. Estas proteínas precipitan sobre las

miofibrillas reduciendo, con ello, su estabilidad y su capacidad de retención de agua. En cierta proporción, las proteínas miofibrilares pueden resultar, también, desnaturizadas. Las pérdidas de transparencia y el color pálido de la carne se deben a la mencionada desnaturización parcial de la mioglobina de la carne. El mayor agravante de la carne PSE es la exudación. Este efecto no se debe a un elevado contenido acuoso, sino a que esta agua se encuentra menos ligado a las proteínas y a que la permeabilidad de las células es mayor. La exudación puede, también, explicarse por la desnaturización parcial de las proteínas sarcoplásmicas y su precipitación sobre las miofibrilares. La superficie de corte de esta carne es húmeda y con abundante jugo. El calentamiento aumenta la pérdida de líquido y en consecuencia la carne resulta fibrosa y seca. Este efecto es también evidente de los productos cárnicos salazonados, al que hay que sumar el escaso desarrollo del color típico de curado en estos productos. Además de la carne PSE da lugar a problemas de ligazón y de estabilidad en los embutidos así como una textura seca.²⁹

Se sabe que en el Estado de Jalisco la presencia de cerdos portadores (Nn) del gen del halotano es del 20% (Villagómez, D. A. F., comunicación personal); esto explicaría en gran medida los resultados obtenidos en los rastros TIF y el rastro rústico, sin embargo la frecuencia de carnes PSE en el rastro semitecnificado podrían deberse a una mayor presencia (38.5%) de animales portadores (Nn) al gen del halotano que se sacrificaron en ese lugar, dichos animales eran híbridos (Yorkshire X Large White X Landrace Belga) de línea comercial.³²

Es importante observar las frecuencias totales del color de la carne considerando los tres rastros, ya que al hacer la suma de las carnes que presentaron frecuencia de color extremadamente pálido y las que presentaron frecuencia de color moderadamente pálido (carnes PSE), nos da un total de 77% de las 300 muestras tomadas y solamente el 23% fueron carnes normales.

La correlación entre el grado de acidez (pH a los 45 minutos) y el color de la carne fue muy similar en los tres rastros, ya que a valores menores de acidez correspondió un descenso en la pigmentación de la carne.¹⁵

En cuanto al grado de marmoleo de la carne se observó que los cerdos que fueron sacrificados en el rastro TIF presentaron mayor grado de marmoleo y difirieron significativamente ($P < 0.005$) al grado de marmoleo que presentaron los cerdos sacrificados en el rastro rústico. Esto podría ser debido a las diferencias que existen en la procedencia de los animales, ya que los animales que se sacrificaron en el rastro TIF provienen de la Región Porcícola Altos Norte con cabecera en el municipio de Lagos de Moreno y los animales que se sacrificaron en el rastro rústico provienen de la Región Porcícola Centro con cabecera en el municipio de Zapopan. El rastro semitecnificado no es muy representativo en cuanto a Región Porcícola ya que sólo sacrificó animales que provenían de mismo rancho. En estas regiones podría variar el tipo de tecnificación de las granjas, las líneas genéticas de los cerdos y el tipo de alimentación utilizada, diferencias que se podrían reflejar en el grado de marmoleo de la carne.⁶

Del total de 300 muestras estudiadas, el grado de marmoleo inexistente lo presentó el 62.3%, el grado de marmoleo pobre lo presentó el 31.3% y el grado de marmoleo moderado lo presentó sólo el 6.3% de las muestras de carne. Esto podría ser debido a que cada vez las empresas que venden cerdos para pie de cría se están enfocando a producir animales magros, los cuales provienen de razas como la Pietrain y la Landrace Belga, y son muy pocos los que utilizan la raza Duroc, aún cuando estudios afirman que dicha raza es la que mejora el marmoleo de la carne.^{1, 3, 8, 23, 30, 32}

Se debería poner atención en el contenido de marmoleo, pues éste tiene una relación directa sobre calidad sensorial de la carne. Estudios recientes reportaron que existe una relación entre la concentración de marmoleo y los puntos positivos a considerar por un panel de degustación. Este tipo de trabajos indican que la ternera y jugosidad de la carne son características mejoradas por el marmoleo presente. ^{8, 12, 23,30}

CONCLUSIONES

Al parecer existe una marcada diferencia en las características tecnológicas (pH y color) de calidad de la carne de cerdo como resultado de la diferencia en los tipos de sacrificio. Carne de mejor calidad se obtiene en el rastro Tipo Inspección Federal (TIF), el cuál indica que sus instalaciones y sistemas de sacrificio son más adecuados que en un rastro semitecnificado o uno rústico.

La anomalía de la carne Pálida, Suave y Exudativa (carne PSE) se presentó en mayor frecuencia ($P < 0.005$) en los rastros semitecnificado y rústico, en comparación al rastro Tipo Inspección Federal. Lo cuál pudo deberse a que en este último, se presentó un mejor manejo antemortem (menor condición de estrés) de los cerdos, aunado a prácticas de obtención de la carne más adecuados.

El mejor grado de marmoleo se observó en la carne del rastro Tipo Inspección Federal, esto tal vez debido a diferencias en la composición racial (genotipo de raza) de los cerdos entre las regiones porcícolas de Jalisco.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ball R.O., Gibson J.P. Aker C.A., Nadarajah K., Uttaro B. E., Fortín A., (2000), Differences among breeds, breed origins and gender for growth, carcass composition and pork quality, Ontario pork carcass appraisal project symposium, Ontario Canada.
2. Balconi R.I., (1998), El consumo de la carne de cerdo, Cerdos tecnología internacional, 2(12), pag 2.
3. Casteel M., Van Oeckel M. J., Boschaerts I., Spincemaille G., Bouequé Ch. V., (1995), The relationship between carcass, meat and eating quality of three pig genotypes, *Meat Science* 40:253-269.
4. Centro de Estadística Agropecuaria, (2000), SAGAR.
5. Chorne R., (1995), Evaluación de la calidad de la carne a nivel comercial, 1º Simposium Síndrome de estrés porcino y la calidad de la carne de cerdo, México D.F. 25 y 26 de mayo.
6. Comités de Planeación y Desarrollo Estatal, (1996), Programa de Regionalización del Estado de Jalisco.
7. Departamento de Agricultura de USA, 2000.
8. Ellis M., Webb A. J., Avery P. J., Brown I., (1996), The influence of terminal sire genotype, sex, slaughter, feeding regimen and slaughter-house on growth performance and carcass and meat quality in pigs and on the organoleptic properties on fresh pork, *Animal Science*, 62: 528.
9. Enfalt. A.C., (1997), Influence of breed, RN genotype and environment. Swedish University of Agricultural sciences.
10. Fahlhaber K., Janetschke P., (1992), Higiene veterinaria de los alimentos, *Acribia* 1º edición, Zaragoza España, pag. 230-241.
11. FAS, USDA, Dinámica porcícola, Inventarios, Producción, Sacrificio, Consumo, Importaciones y Exportaciones en países seleccionados, (1998), Cerdos tecnología internacional, 2(12), pag. 3,6.
12. Fortin A., Jeremiah L.E., Gibson J.P., Ball R.O., (2000), Eating quality of pork, Ontario pork carcass appraisal project symposium, Ontario Canada.

13. Forrest J.C., Aberle E.D., Hedrick H.B., Judge M.D., Merkel R.A., (1975), Fundamentos de ciencia de la carne, Acribia, 1º edición, Zaragoza España, pag. 265.
14. Galindo G.J. Sánchez C. D. Villagómez D.A.F., (1999), Efectos del gen del halotano en la calidad de la carne de cerdo, Asociación Mexicana de Veterinarios Especialistas en Cerdos, XXXIV Congreso Nacional 28 al 31 de julio, Mérida Yucatán México. pag. 140-143.
15. Galindo G.J., (2000), Calidad de la canal y de la carne de cerdos para abasto asociada al gen del halotano, Universidad de Guadalajara, pag 37.
16. Gibson J.P., Aker C., Ball R.O., (1999), Levels of genetic variation for growth, carcass and meat quality traits of purebred pigs, Proceedings of the 6th world congress in genetics applied to livestock production, Armadale, NSW, Australia. Vol 23:499-502.
17. Grandin T., Smith G.C., (1999), Animal welfare and humane slaughter, Department of animal sciences, Colorado State University.
18. Gregory N.G., (2001), Processing factors influencing pH values, Meat science reciprocation series, American Meat science association, E.U.A.
19. Koeslag H.J., Castellano E.F., (1984), Manuales para educación agropecuaria porcinos, Trillas, 2º edición, México, pag. 9.
20. Larios V.I., González H. S., (1994), Diagnóstico de la situación sanitaria de los rastros en el Estado de Jalisco, Universidad de Guadalajara.
21. Lawrie R.A., (1984), Avances en la ciencia de la carne, Acribia, 1º edición, Zaragoza España.
22. Lawrie R.A., (1977), Ciencia de la carne, Acribia, 2º edición, Zaragoza España, pag. 17, 209.
23. McLaren L.L.Lo.D.G., McKeith F. K., Fernando R. L., Novakofski J., (1992), Genetics analyses of growth, real-time ultrasound, carcass. And pork quality in Duroc and Landrace pigs: I. Brees effects. Jornal Animal Science, 70:2381-2382.

24. Maya R.J., (1995) Variaciones de la calidad de la carne de cerdo, 1º Simposium Síndrome de estrés porcino y la calidad de la carne de cerdo, México D.F. 24 y 25 de mayo.
25. Mitchell G., Heffron A. J., (1981), Some muscle and growth characteristics of pigs susceptible to stress. *Br. vet.*, 137: 374-382.
26. NPPC, (1991), Procedures to evaluate market hogs, 3º edición, National Pork Producers Council, Des Moines, IA.
27. O'Brien P.J., Klip A., Britt B.A., Kalow B.L., (1990), Malignant hyperthermia susceptibility: biochemical basis for pathogenesis and diagnosis. *Canadian Journal of Veterinary Research*, 54(1) pag 83-92 Jan.
28. Ortega V.M., (1995), Fisiología de la contracción muscular, 1º Simposium Síndrome del estrés porcino y la calidad de la carne de cerdo, México D.F. 24 y 25 de mayo.
29. Prandl O., Fischer A., Schmidhofe T., Jürgen S.H., (1994), Tecnología e higiene de la carne, *Acribia*, 1º edición, pag. 2, 5, 8-10, 19, 23, 26-29, 33, 34, 108-110.
30. Puolanne E., Demeyer D.I., (1992), Pork quality: Genetic and metabolic factors, C.A.B. International, Finland, Junio, pag. 2.
31. SAGAR, (1997) Situación actual y perspectiva de la producción de carne de porcino en México 1990-1997, México D.F. Octubre.
32. Sánchez C.D., (2000), Comportamiento productivo de líneas genéticas terminales de cerdos con especial referencia al gen del halotano, Universidad de Guadalajara.
33. Sellier P., Monin G., (1992), Genetics of pig meat quality: A review., December 17, pag. 206.
34. Steel R.G.D., Torrie H.J., (1980), Bioestadística principios y procedimientos, Mc Graw Hill, 2º edición, México, pag. 622.
35. Snedecor G. W., William G. C., (1967), Statistical Methods, 6º edition, The Iowa State University, Ames, Iowa U.S.A., pag. 59-61, 173-175, 549, 556-559.
36. Swatland H.J., (1984), Estructura y desarrollo de los animales de abasto, *Acribia*, Zaragoza España, Pag. 375-389.

37. Trujano T.J., Sánchez R.G., Jruegas E.L., (1997), Oportunidades de desarrollo de la porcicultura en México, Fideicomiso Instituido en Relación con Agricultura en el Banco de México (FIRA), 24 (296), pag. 3 , 4.
38. Warwick E.J. Legales J.E., (1994), Cría y mejora del ganado, Mc Graw Hill, 7° edición, México, pag. 13.