Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA OBTENER EL RENDIMIENTO A CORTES DE CANALES PORCINAS

Tesis para obtener el Título de Maestro en Medicina Veterinaria y Producción Animal

PRESENTA:

MVZ. CECILIA CORTINA CASTILLO

DIRECTOR:

MC. FELICITAS VAZQUEZ FLORES

ASESORES

DR NÉSTOR MÉNDEZ PALÁCIOS
DR MAXIMINO MÉNDEZ MENDOZA

TECAMACHALCO, PUEBLA 2017

ÍNDICE DE TEMAS

Tema	Pagina
1. Resumen	1
2. Introducción	2
2.1 Antecedentes	
2.1.1 Estructura del tejido muscular	2
2.1.2 Composición química del músculo	6
2.1.3 Principales eventos metabólicos en el músculo esquelético	8
2.1.3.1 Contracción muscular	8
2.1.3.2 Síntesis muscular de energía	10
2.1.4 Conversión de músculo a carne	12
2.1.4.1 Fallo circulatorio muscular	13
2.1.4.2 Caída post-mortal del ph	13
2.1.4.3 Producción y disipación del calor después de la muerte	14
2.1.4.4 Rigor mortis	14
2.1.5 Carne	14
2.1.5.1 Composición	15
2.1.6 Panorama económico respecto a la carne de porcino	15
2.1.6.1 Entorno mundial	16
2.1.6.2 Entorno nacional	17
2.1.6.3 Cadena de comercialización	18
2.1.7 Canal porcina	19
2.1.7.1 Aspectos cualitativos de la calidad de canal	24
2.1.7.1.1 Firmeza y textura	24
2.1.7.1.2 Color	25
2.1.7.1.3 Capacidad de retención de agua	26
2.1.7.1.4 Terneza	28
2.1.7.1.5 Grasa intramuscular	28
2.1.7.2 Aspectos cuantitativos de la calidad de la canal	29
2.1.7.2.1 Rendimiento de la canal	29
2.1.7.2.2 Profundidad de grasa dorsal y diámetro del músculo gran dorsal	30
2.1.7.2.3 Peso y longitud de la canal	31
2.1.7.3 Factores que afectan el rendimiento de la canal	31
2.1.7.3.1 Selección genética	31

2.1.7.3.2 Alimentación 32
2.1.7.3.3 Sexo 34
2.1.7.3.4 Factores ambientales 35
2.1.7.3.5 Transporte y manejos pre - sacrificio 36

2.1.7.4 Proceso de la canal porcina 40

2.1.8 Determinación del valor de la canal 41

2.1.8.1 Modelos matemáticos para la estimación de la predicción del rendimiento de la canal 43
2.1.8.2 Dispositivos de medición 47

3. Justificación 52

4. Objetivos
4.1 General 53
4.2 Específicos 53

5. Material y método 54
5.1 Ubicación del estudio 54
5.2 Material 54
5.3 Metodología 54
5.3.1 Obtención de medidas para el modelo matemático 55
5.3.2 Elaboración del modelo matemático para la predicción del rendimiento 56
5.3.3 Comprobación del modelo propuesto 57

6. Resultados 58

7. Discusión 64

8. Conclusión 69

9. Bibliografía 70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pagina
1.	Disección de la canal porcina	23
2.	Proceso de producción del rastro y planta industrializadora de productos cárnicos (cerdos)	42
3.	Corte transversal del área de la chuleta con piel	56
4.	Rendimiento promedio de la canal fría. Los valores no cuantificados individualmente y los cuantificados en cantidades reducidas, fueron concentrados en el mismo conjunto de datos.	58
5.	Proporción de los cortes primarios obtenidos del total de la canal fría	59
6.	Correlaciones entre medidas de la canal y cortes primarios	59
7.	Coeficientes de regresión para profundidad del músculo dorsal	62
8.	Coeficiente de regresión para la profundidad de la grasa a la altura de la 10ma costilla	62
9.	Coeficiente de regresión para la canal fría	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Pagina
1. Diferentes dispositivos de medición para la predicción del rendimiento de la canal	49
2. Valores promedio de los cortes primarios	59
3. Valores promedio de las variables con mayor asociación al rendimiento de la canal porcina.	60
4. Coeficientes de correlación	61
5. Resultados del análisis de varianza	63

DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA OBTENER EL RENDIMIENTO A CORTES DE CANALES PORCINAS

1. RESUMEN

Alrededor del mundo las tasas de consumo de carne de cerdo incrementan de manera paralela con la producción, eso es importante para los productores que están a la vanguardia de la competencia por mercados potenciales. México a diferencia de otros países, no cuenta con un mecanismo de clasificación de la calidad de las canales y de la carne de cerdo. Las vías de comercialización del ganado no ofrecen al productor un escenario ventajoso, por el contrario, en muchas ocasiones están sujetos a criterios arbitrarios de los intermediarios. Por lo que establecer ecuaciones de predicción del rendimiento de cortes primarios en canales porcinas es estimar con precisión elevada el porcentaje y cantidad de cortes primarios, lo que será de gran utilidad para establecer sistemas de pago diferencial y para evaluar el sistema de producción. El objetivo del presente es desarrollar un modelo matemático para obtener el rendimiento a cortes primarios de canales porcinas, además de recopilar datos de las mediciones de importancia para la estimación del rendimiento y evaluar el rendimiento a cortes de la canal con el modelo matemático propuesto. El proceso de evaluación constó de dos fases: En la primera se tomó una muestra de tamaño 265 canales, provenientes de 3 diferentes granjas, para la obtención de la ecuación de predicción. En la segunda se tomó otra muestra de tamaño 1000 canales, provenientes de 7 granjas diferentes, para la comprobación de la ecuación obtenida. Los datos fueron sometidos a un análisis de correlación múltiple, con el objeto de detectar las variables más asociadas con el rendimiento de cada uno de los cortes primarios, la suma de ellos y su porcentaje. Posteriormente se llevó a cabo un análisis de regresión lineal utilizando como criterios de evaluación las mediciones que muestran correlaciones elevadas, para generar a partir de ellas una ecuación de predicción.

2. INTRODUCCIÓN

El cerdo hoy se encuentra entre los animales productores de carne más eficientes, sus características particulares lo hacen especialmente atractivo como fuente de alimentación. Las nuevas tecnologías y mercados han llevado al desarrollo de un cerdo más magro, esperando un mayor rendimiento de la canal. Para conocer el rendimiento de la canal se han usado ecuaciones de predicción basados en los resultados de la medición de variables en el cerdo en pie, canal caliente y canal fría, tomadas con diferentes dispositivos.

Sin embargo estas ecuaciones fueron obtenidas con mediciones de animales de ambientes muy diferentes al de las empacadoras y procesadoras de carne del país, por lo que se recomienda que se elabore un modelo matemático para predecir el rendimiento de la canal por región o incluso por empacadora, ya que éste se ajustará a las condiciones de las granjas proveedoras y disminuirán el sesgo, siendo su resultado más aproximado a la realidad. Así, tanto proveedor como comprador conocerán de manera anticipada el rendimiento cárnico de una canal y se logrará un pago justo por ésta. Por lo que se espera que la propuesta de que un sistema de pago donde las canales con rendimiento superior al promedio reciban un estímulo y las canales por debajo una penalización en el precio, logre un pago justo a los productores por parte de las empacadoras, así que los productores se enfocarán en la producción de cerdos que den mayor rendimiento a la canal y obtengan un mayor beneficio económico.

2.1 Antecedentes

La carne se compone principalmente de músculo esquelético y de cantidades variables de tejidos conectivos de toos los tipos, así como de una pequeña porción de tejido epitelial y nervioso (Forrest *et al,.* 1975).

2.1.1 Estructura del tejido muscular

Existen tres tipos de tejido muscular: liso, cardiaco y esquelético (Wilson W, 2005 y Arcila, 2009). El músculo esquelético conforma la mayor masa corporal de los vertebrados su principal papel es lograr la contracción y relajación necesaria para el mantenimiento de postura y locomoción. Es un tejido único y complejo, inervado por el sistema nervioso central, su unidad básica es la miofibrilla compuesta de filamentos de dos tipos: gruesos que contienen cientos de moléculas de la proteína miosina y delgados que contienen dos cadenas de la proteína actina; con varias características contráctiles y metabólicas (Wilson, 2005 y Ciobanu *et al.,* 2011), la mayoría de los músculos se unen directamente a los huesos, pero algunos lo hacen a ligamentos, fascias, cartílagos y piel (Forrest *et al*., 1975 y Wilson, 2005).

Las principales estructuras del músculo esquelético son:

- Sarcolema

La membrana que rodea a la fibra muscular recibe el nombre de sarcolema, es relativamente elástica; periódicamente, a lo largo de la fibra y de toda su circunferencia, se forman unas invaginaciones del sarcolema que forman una red de túbulos, denominados túbulos transversales, llamado sistema T. La unión mioneural es el lugar en el que las terminaciones de las fibras nerviosas motoras se implantan en pequeñas invaginaciones del sarcolema (Forrest *et al.,* 1975 y Wilson, 2005).

- Sarcoplasma

El citoplasma de las fibras musculares se denomina sarcoplasma. Se trata de una sustancia coloidal intracelular en la que están suspendidos todos los organelos. Se compone de un 75-80% de agua, poseyendo además lípidos, glucógeno, ribosomas, proteínas, compuestos nitrogenados no proteicos y diversos compuestos inorgánicos (Wilson, 2005).

- Miofibrillas

Las fibras musculares esqueléticas son multinucleadas, pero debido a su gran variación en longitud el número de núcleos por célula no es constante. En las proximidades de unión a los tendones el número de núcleos aumenta y se distribuyen de manera irregular, el número de núcleos también aumenta en la proximidad de la unión mioneural. En los mamíferos los núcleos se encuentran en la periferia de las fibras, inmediatamente debajo del sarcolema y tienen forma elipsoidal (Forrest *et al*., 1975).

Existen diferencias en el porcentaje de tipos de fibras específicas que existen, ya sean en un mismo músculo y entre los diferentes músculos. Este tipo de fibras difiere en la tasa contráctil, cantidad de fuerza generada y eficiencia en el uso de otras vías glucolíticas y oxidativas. Los porcentajes de diferentes tipos de fibras varían en diversos músculos, son dirigidos por etapas de desarrollo, actividad y función muscular, además de que son definidos genéticamente mostrando evidencias substanciales entre los cerdos domésticos y salvajes, dando evidencia de que la domesticación y la selección para la producción de carne tienen resultados en un fenotipo consistente con más fibras glicolíticas y rápido crecimiento (Ciobanu *et al*., 2011). En las miofibrillas se reconocen dos áreas: las bandas claras las cuales se les llama banda I; por otro lado las bandas oscuras se designan como banda A. Tanto la banda A, como la I están divididas por líneas estrechas, la I por una línea oscura llamada línea Z. La porción de miofibrilla comprendida entre dos líneas Z adyacentes se llama sarcómero, el sarcómero comprende una banda A y dos medias bandas I que se encuentran localizadas a cada lado de la banda A. El sarcómero es la unidad estructural representativa de la miofibrilla, así como la unidad básica en que tiene lugar el ciclo de contracción-relajación muscular (Forrest *et al.,* 1975).

Los miofilamentos de las miofibrillas no solo difieren en dimensiones, sino también en composición química, propiedades y situación del sarcómero. Los filamentos gruesos se componen prácticamente de miosina por lo que se les llama filamentos de miosina mantienen sus gruesas bandas cruzadas localizadas a lo largo y en el

centro de la banda A, a esta alineación corresponden las características densidades de la línea M; los filamentos delgados por su composición mayoritaria de actina, se les llama filamentos de actina y componen la banda I del sarcómero (Forrest *et al*., 1975; Wilson, 2005).

La zona H es menos densa que el resto de la banda A porque constituye la región central entre las terminaciones de los filamentos opuestos de actina. Por lo tanto, solo confiere filamentos de miosina. La anchura de la zona H varía con el estado de contracción muscular. El área más densa de la zona A está a cada lado de la zona H, en donde existen filamentos de actina y miosina. La banda I solamente contiene filamentos gruesos de actina, es la menos densa de toda la miofibrilla (Forrest *et al*., 1975; Wilson, 2005).

- Retículo sarcoplásmatico

El retículo sarcoplásmatico corresponde al retículo endoplásmico en otro tipo de células. Es un sistema membranoso de túbulos y cisternas que forman una densa red alrededor de cada miofibrilla, es de naturaleza intracelular. Las membranas reticulares del retículo sarcoplásmatico son los lugares de almacenamiento de los Ca_2^+ de las fibras musculares en reposo. El retículo sarcoplásmatico acompaña a cada sarcómero a lo largo de toda la miofibrilla, teniendo en cuenta que la fibra muscular tiene al menos 1000 miofibrillas (Forrest *et al*., 1975; Wilson, 2005).

- Mitocondrias

Las mitocondrias son orgánulos oblongos localizados en el sarcoplasma, capturan la energía procedente del metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas, proporcionando a la célula una fuente de energía química. Contienen enzimas que utilizan las células en procesos oxidativos metabólicos. Las mitocondrias del músculo esquelético son abundantes en la periferia de la fibra, en las proximidades de los polos de los núcleos, en las uniones mioneurales y en las miofibrillas (Forrest *et al.,* 1975; Wilson, 2005).

2.1.2 Composición química del músculo

El músculo está compuesto principalmente por agua, proteínas, lípidos, sales e hidratos de carbono, compuestos nitrogenados, ácido láctico, minerales y vitaminas. A continuación se presentan los principales compuestos y su porcentaje relacionado al total de la masa muscular:

- Agua 75 %

El agua es el componente principal de los líquidos extracelulares y en ella se encuentran disueltos o suspendidos numerosos componente químicos; por ello, sirve como medio de transporte de materiales entre el lecho vascular y las fibras nerviosas (Forrest *et al.* 1975). Se encuentra principalmente en el tejido magro. A mayor contenido en grasa, el cual puede variar dependiendo el sexo, raza, edad, alimentación, menor contenido en agua. Muchas de las propiedades físicas de la carne dependen de la capacidad de retención de agua (Latorre *et al.,* 2004).

- Proteínas 16 - 22 %

El valor biológico de una proteína es la fracción de nitrógeno absorbido que es retenido por el organismo, lo que representa la capacidad máxima de utilización. Son el componente principal de la materia sólida. Se clasifican según su solubilidad en: sarcoplásmicas, miofibrilares y del estroma. Las proteínas sarcoplásmicas se extraen fácilmente con agua o tampones de poca fuerza iónica. Las proteínas del estroma, constituyen el tejido conectivo, entre estas se incluyen: mioglobina, hemoglobina y las enzimas asociadas a la glucolisis, al ciclo del ácido cítrico y a la cadena transportadora de electrones, aunque las ultimas enzimas pertenecen a la mitocondria, se extraen fácilmente junto con los que se encuentran en el sarcoplasma. Las proteínas miofibrilares son asociadas con filamentos gruesos y delgados; comprenden la actina, miosina, tropomiosina, troponina, actinina, proteínas C y proteínas M. Además se encuentran otros compuestos nitrogenados, entre ellos destacan aminoácidos, péptidos sencillos, creatinina, fosfato de

creatinina, algunas vitaminas, nucleósidos y nucleótidos, incluido el adenosintrifosfato (Latorre *et al.,* 2004).

- Lípidos 4 - 12 %

La fracción lipídica es la más variable, de hecho, existe una clara diferencia entre la grasa de los rumiantes (vaca, oveja) la del cerdo y conejo, más condicionada por su alimentación (mayor porcentaje de ácidos grasos insaturados). Se compone principalmente de lípidos neutros (triglicéridos) y fosfolípidos. Aunque en las fibras musculares se encuentran algunos lípidos intracelulares, la mayoría se localizan en los depósitos de tejido adiposo asociado a los septos del tejido conectivo laxo que se encuentra entre las haces musculares. A este último tipo de depósito graso se le conoce como veteado, marmoleo o grasa intramuscular. Esta variación puede deberse a lo siguiente: región de la canal dentro de una misma especie, raza (diferencias en el contenido en grasa), menor selección genética, edad (mayor contenido en grasa a medida que el animal envejece, menor contenido en colágeno), sexo (menor contenido en grasa intramuscular en los machos, mayor contenido en grasa en animales castrados), alimentación, etc. (Latorre *et al.,* 2004).

- Carbohidratos 1 %

El contenido de carbohidratos del tejido muscular es muy pequeño; el glucógeno que es, en músculo, el de mayor importancia, supone aproximadamente de 0.5 a 1.3% del peso del músculo. Los restantes constituyen los mucopolisacaridos asociados a los tejidos conectivos, la glucosa, otros mono o disacáridos y los intermediarios del metabolismo glucolitico.

- Minerales 1 %

Finalmente, el músculo contiene numerosos componentes inorgánicos entre los que sobresalen algunos cationes y aniones de importancia fisiológica, como calcio magnesio, potasio, sodio, hierro, fosforo, azufre y cloro (Gómez, 2009).

2.1.3 Principales eventos metabólicos en el músculo esquelético

2.1.3.1 Contracción muscular

El músculo vivo es un tejido muy especializado que mediante su contracción, convierte la energía química en energía mecánica (Forrest *et al.,* 1975). La contracción muscular se inicia por un estímulo que comienza en el cerebro o en la cuerda espinal y llega a la superficie de la fibra muscular (sarcolema) a través del nervio. Las fibras nerviosas que transmiten los estímulos contráctiles a los músculos esqueléticos se denominan nervios motores, son unas fibras más largas del sistema nervioso periférico y se encuentran protegidas por una capa de células de Schwan y por la vaina de mielina. Las fibras nerviosas mielinizadas tienen velocidades de conducción 30 o 40 veces mayores que las fibras carentes de mielina. Las fibras nerviosas y musculares, además de contar con el potencial de membrana, poseen una característica peculiar que carecen las otras células: transmiten el impulso eléctrico, llamado potencial de acción, a lo largo de las superficies de sus membranas. Cuando se transfiere un potencial de acción de un nervio motor a las fibras musculares, estas inician una contracción muscular. El potencial de acción se inicia al aumentar la permeabilidad de la membrana a los iones de sodio de varios centenares a varios miles. El estímulo (potencial de acción) que inicia la contracción muscular se transmite desde la fibra nerviosa a la muscular por la unión mioneural. La mayoría de las fibras musculares solo tienen una unión mioneural a partir de la cual el estímulo se transmite a todas partes de la fibra (Klein y Cunningham, 2009). En condiciones de descanso normales en las células vivas siempre existe un potencial eléctrico entre su interior y el exterior; en las nerviosas y musculares en reposo este potencial alcanza los 80-85 milivoltios. La concentración iónica de los líquidos intra y extra celulares es aproximadamente la misma, en el líquido intracelular a lo largo de la superficie interna de la membrana, se acumula un ligero exceso de iones negativos, mientras que en la superficie externa hay un ligero exceso de iones positivos. Esta separación de cargas genera un potencial eléctrico

a través de la membrana, dicho potencial es positivo en la superficie externa y negativo en la interna. El potencial de membrana entre el nervio y músculo es consecuencia: 1) del transporte activo de iones a través de la membrana, 2) de las características de permeabilidad selectiva de la membrana frente a la difusión de iones y moléculas pequeñas y 3) de la composición singular de los líquidos intra y extracelulares (Klein y Cunningham, 2007). La contracción del músculo esquelético implica directamente a cuatro de las proteínas miofribilares: actina, miosina, tropomiosina y troponina. Los enlaces cruzados que forma la miosina entre los filamentos son los que generan la fuerza contráctil durante la contracción. En estado de relajación el músculo genera muy poca tensión y puede ser estirado fácilmente mediante una fuerza que tire de él. En contraste con la actina y la miosina, la tropomiosina y la troponina actúan como proteínas reguladoras, ayudando a poner en marcha o parar la reacción contráctil. El músculo relajado presenta en el líquido sarcoplásmatico que baña a las miofibrillas un nivel de calcio iónico muy bajo (10^{-7} moles/litro de Ca_2^+ libre). La concentración total de calcio en el músculo esquelético es mayor de mil veces este nivel (mayor de 10^{-4} moles/litro). Sin embargo el calcio presente en la fibra muscular está unido al retículo sarcoplásmatico y no se encuentra libre en el sarcoplasma. Para que el músculo permanezca en estado de relajación debe contener también una concentración alta de adenintrifosfato (ATP), el cual se encuentra en forma de complejo en el ión magnesio. Su presencia previene la interacción de la actina con miosina, al servir de lubricante logrando que estas se deslicen unas sobre otras. Cuando la concentración de Ca_2^+ sarcoplasmico es baja y la de ATP- Mg es alta la troponina y la tropomiosina inhiben la formación de enlaces cruzados entre la actina y la miosina y por lo tanto el desarrollo de la rigidez. Para que inicien las contracciones se necesita elevar las concentraciones de iones de Ca_2^+ de 10 a 100 veces. Cuando esto sucede los iones de Ca_2^+ se ligan a la troponina, disminuyendo la inhibición que ejerce en la formación de enlaces cruzados entre la actina y la miosina en estado de relajación. La miosina se encuentra libre para formar enlaces cruzados entre los filamentos, formándose el complejo proteico actiomiosina. La contracción muscular exige un consumo adicional de energía además de la normalmente gastada por el músculo en reposo,

esta energía deriva del ATP hidrolizada a través de la miosin ATPasa. Por lo tanto, el aumento de la concentración de iones Ca_2^+ libres en el sarcoplasma estimula la formación de enlaces cruzados entre los filamentos de actina y miosina y simultáneamente incrementa la hidrolisis del ATP, produciendo la energía química necesaria, que será convertida en energía mecánica por la actina y miosina, iniciando el deslizamiento de los filamentos originando una fuerza contráctil (Klein y Cunningham, 2009).

La relajación del músculo esquelético se define como el restablecimiento del estado de reposo y puede medirse por la disminución de tensión muscular. Para que tenga lugar la relajación deben reestablecerse las condiciones que prevalecían durante la fase de reposo, concretamente una concentración de 10^{-7} moles/litro de iones de Ca_2^+ libres en el sarcoplasma y una concentración de ATP relativamente alta. En consecuencia la relajación tendrá lugar únicamente cuando los sucesos que activaron el proceso contráctil se inviertan (Wilson, 2005; Klein y Cunningham, 2009).

2.1.3.2 Síntesis de energía

Se deduce que el ATP es la fuente última de energía para: el proceso contráctil, bombeo de calcio durante la relajación y el mantenimiento, a través del sarcolema, de los gradientes de sodio y potasio (Klein y Cunningham, 2009). Existe una gran demanda de energía por parte del músculo por lo que se debe de disponer de mecanismos muy rápidos y eficaces para la síntesis de ATP. El mecanismo más eficaz para la síntesis de ATP lo constituyen una serie de reacciones que conocen colectivamente como metabolismo aeróbico, en las que los nutrientes de los alimentos, tales como carbohidratos, proteínas y lípidos, se degradan a dióxido de carbono y agua, mientras que parte de la energía liberada se aprovecha para formar ATP. Este proceso comienza por el tracto gastrointestinal en donde los nutrientes (compuestos productores de energía potencial) son absorbidos; en este caso se

trata de la glucosa. La glucosa siguiendo el sistema circulatorio, va al hígado (donde se convierte en glucógeno) en el que se almacena o al músculo donde puede metabolizarse inmediatamente para proporcionar energía o almacenarse como glucógeno para su empleo posterior. El glucógeno hepático puede hidrolizarse a glucosa que es transportada al músculo a medida que se necesita. El glucógeno muscular se metaboliza a piruvato a través de la glucolisis generando 3 ATP. El piruvato se metaboliza bien en el ciclo de los ácidos tricarboxilicos (TCA) y en la cadena de citocromo a H_2O y CO_2 originando 34 ATP o se convierte en ácido láctico (Forrest *et al.,* 1975). El ácido láctico, H_2O y CO_2 son sacados del músculo por la corriente sanguínea. El dióxido de carbono se elimina por pulmón, el H_2O se excreta por el riñón y el ácido láctico vuelve a convertirse en glucosa (Klein y Cunningham, 2009). Si un músculo trabaja lentamente y se le proporciona oxígeno en cantidad adecuada el metabolismo aeróbico y la hidrolisis de las fosfocreatina pueden cubrir adecuadamente la mayoría de sus necesidades energéticas. Sin embargo, cuando el músculo se contrae rápidamente, su aporte de oxigeno no es suficiente para soportar la resíntesis de ATP mediante el metabolismo aeróbico. Bajo estas condiciones de falta de oxígeno, el metabolismo anaeróbico puede proporcionar energía durante un corto tiempo. Uno de los hechos más destacados del metabolismo anaeróbico es la acumulación de ácido láctico. Cuando el aporte de oxígeno es inadecuado los hidrogeniones liberados en la glucolisis y en el ciclo de los ácidos carboxilos (TCA) no se combinan con el oxígeno a una velocidad lo suficientemente rápida, por lo que tienden a acumularse en músculo. El exceso de hidrogeniones se emplea para la conversión de ácido pirúvico en ácido láctico, lo que permite que la glucolisis continúe a un ritmo rápido. La energía disponible en la ruta anaeróbica es limitada. El acumulo de ácido láctico en el músculo baja su pH y cuando este alcanza valores menores de 6-6.5 la velocidad de la glucolisis se reduce drásticamente. Lo que se acompaña de una reducción adicional de la resíntesis de ATP. Bajo estas condiciones se presenta rápidamente fatiga y el músculo no puede contraerse debido a falta de energía y también a un exceso de acidez (Klein y Cunningham, 2009).

2.1.4 Conversión de músculo a carne

La conversión de músculo a carne es una compleja cascada de eventos metabólicos que disponen de la calidad final del producto cárnico, mediante la alteración de la solubilidad y la funcionalidad de las proteínas nativas (Pazos, 2009). Es ampliamente conocido que el estado metabólico del músculo en el estado de desangrado es crítico, ocurre el descenso de pH y el desarrollo en los tejidos del *rigor mortis*. Además otros factores (genéticos o ambientales) definen el metabolismo del músculo y pueden afectar la calidad de la carne (Warris, 2003; Ciobanu *et al*. 2011).

Eventos metabólicos durante la transformación del músculo a carne:

1) Depleción gradual de la energía disponible en la forma de glicógeno, glucosa, glucosa 6-fosfato y ATP, lo cual conducen a *rigor mortis*.
2) Disminución del pH muscular de cercano a la neutralidad a 5.4 – 5.8 (bajo circunstancias normales).
3) Aumento de la fuerza iónica, en parte, debido a la incapacidad de las bombas de calcio, sodio y potasio dependientes de ATP para funcionar.
4) Incremento en la incapacidad de las células musculares para mantener un ambiente que proteja contra la oxidación de lípidos y proteínas.
5) Degradación de las proteínas miofribilares del citoesqueleto y filamentos intermedios. (Ciobanu *et al.,* 2011).

La homeostasis es de gran importancia durante la transformación de músculo a carne por dos razones: 1) muchas de la reacciones y cambios que tienen lugar durante esta conversión son consecuencia directa de la homeostasia (intentos de conservar la vida) y 2) las condiciones del periodo inmediatamente anterior al sacrificio pueden modificar los cambios musculares postmortales y afectar la calidad de la carne (Varnam y Sutherland, 1995).

2.1.4.1 Fallo circulatorio muscular

El desangrado elimina la línea de comunicación entre músculo y ambiente externo. A medida que disminuye el aporte de oxigeno (además de glucosa y ácidos grasos), como consecuencia del desangramiento, cesa el funcionamiento de la ruta aeróbica mediante el ciclo del citrato y del citocromo. La energía metabólica se desplaza entonces a la ruta anaeróbica de una forma muy similar a como cuando no hay suficiente oxígeno para el músculo vivo durante periodos de ejercicio intenso y deficiencia de oxígeno (Forrest *et al,* 1979; Warris, 2003). De tal manera que el ATP solo puede regenerarse a través de la lisis del glucógeno y posterior glicolisis ya que la descarboxilacion y la fosforilacion oxidativa no pueden continuar funcionando (Warris, 2003). El ácido láctico acumulado no puede ser llevado para sintetizarse en glucosa o glucógeno al hígado, por lo tanto se acumula en músculo, aumentando su concentración a medida que prosigue el metabolismo. Continua acumulándose hasta que casi todo el glucógeno original almacenado en el músculo ha sido agotado o hasta que se alcanzan condiciones que retrasan o paran la glucolisis anaerobia (Varnam y Sutherland, 1995).

2.1.4.2 Caída post-mortal del pH

El acúmulo de ácido láctico determina un descenso del pH muscular, el pH de la carne dependerá en gran parte de la cantidad de glucógeno contenido en el músculo en el momento del desangrado. La caída normal del pH comienza con un descenso gradual desde un valor de aproximadamente 7, hasta 5.6 - 5.7 transcurridas de 6 a 8 horas después del sacrificio, para alcanzar un pH final de 5.3 - 5.7, 24 horas desde el sacrificio (Pazos, 2009).

2.1.4.3 Producción y disipación del calor después de la muerte

Debido al desangrado el músculo pierde un importante mecanismo de control de temperatura, el sistema circulatorio, por lo tanto sube la temperatura muscular. La altura alcanzada por la temperatura depende de la velocidad de producción metabólica de calor y de su duración. Los factores metabólicos que determinen que la temperatura se eleve en el periodo post mortal son los mismos que causan el descenso del pH (Forrest *et al.,* 1979).

2.1.4.4 *Rigor mortis*

La rigidez observada en el *rigor mortis* se debe a la formación de enlaces cruzados permanentes entre los filamentos de actina y de miosina del músculo. Es la misma reacción química que forma actimiosina en vida durante la contracción muscular. La diferencia entre el estado vivo y el rigor es que en el último la relajación es imposible, ya que no se dispone energía para escindir la actimiosina. De este modo los músculos se acortan a medida que se forman enlaces permanentes (Hui, 2006). El *rigor mortis* ocurrirá de manera más rápida cuando el aporte energético sea limitado o cuando el aporte energético es rápidamente metabolizado o porque las condiciones de gran acidez inhiben importantes reacciones químicas del metabolismo energético (Forrest *et al.,* 1979).

2.1.5 Carne

La carne es el producto pecuario de mayor valor, resultado de la transformación experimentada por el tejido muscular del animal a través de una serie concatenada de procesos fisicoquímicos y bioquímicos, que se desarrollan como consecuencia del sacrificio del animal, además que ha sido dictaminado como inocuo y apto para

el consumo humano o destinado para este (Legarreta, 1990; Hui *et al.,* 2001); se referirá como carne a los tejidos exclusivamente originarios de la canal del animal, una proporción que asciende alrededor de un medio a tres cuartos del peso vivo del animal (Hui *et al*., 2001).

Desde el punto de vista nutricional, la importancia de la carne deriva de sus proteínas de alta calidad, que contienen todos los aminoácidos esenciales, así como de sus minerales y vitaminas de elevada biodisponibilidad. La carne se compone de agua, proteínas y aminoácidos, minerales, grasas y ácidos grasos, vitaminas y otros componentes bioactivos, así como pequeñas cantidades de carbohidratos (FAO, 2005).

2.1.5.1 Composición

La composición de la carne ofrece pocas diferencias entre especies en lo que respecta a las partes magras, en cambio, su contenido graso está sometido a oscilaciones considerables que, de hecho, repercuten en las proporciones aportadas por los demás componentes (Forrest *et al.,* 1979). El contenido en grasa suele depender de cierto número de factores: la especie animal, la raza, el sexo, la edad, la alimentación, la región anatómica, etc. (Serrano *et al.,* 2008). La composición química de la carne de cerdo es la siguiente: agua 75%, proteínas 21.9%, grasa 1.9%, minerales 1.2% y su contenido energético 108 Kcal/100g. Las canales son despiezadas en distintas partes anatómicas, en cuya composición química se pueden observar diferencias, porque en cada parte se integran músculos diversos cuya función fisiológica varía y ésta circunstancia se refleja en su conversión de carne (Ngapo *et al.,* 2003).

2.1.6 Panorama económico respecto a la carne de porcino

El cerdo se encuentra hoy entre los animales más eficientemente productores de carne; sus características particulares, como gran precocidad y prolificidad, corto

ciclo reproductivo y gran capacidad transformadora de nutrientes, lo hacen especialmente atractivo como fuente de alimentación (Woltmann *et al.,* 1992). La carne de cerdo es la de mayor consumo a nivel global, su importancia nutricional, económica y social es innegable.

2.1.6.1 Entorno mundial

Del volumen total de consumo mundial de carne (bovino, porcino, ave) en los últimos años el de cerdo representó 43% y tuvo una tasa de crecimiento media anual menor al que promedia la carne de ave, pero mayor al de la de bovino. La carne de porcino fue de las de mayor consumo en el mundo, con un volumen de 109.3 millones de toneladas durante 2016 (FIRA, 2016; Morales, 2017; Navarrete, 2012), siendo mayor su consumo en China, Unión Europea y Estados Unidos. El consumo en China, presenta un crecimiento sostenido en el periodo 2000-2011, para situarse en éste último año en 54.6 millones de toneladas (50.1%). En la Unión Europea (27 miembros), el consumo consta de 20.7 millones de toneladas (19%). En Estados Unidos el consumo de carne de cerdo se encuentra en 9.48 millones de toneladas (8,7%) (Navarrete, 2012).

En 2016 se logró un volumen de producción de 109.3 millones de toneladas. El 86% de la producción mundial de carne de porcino se concentra en China, la Unión Europea y Estados Unidos. Destaca la posición de México como 9° productor mundial, con una participación de 1.3% (FIRA, 2016; Morales, 2017). En el mundo se comercializa solo el 6% de carne disponible debido a que los principales productores consumen la de origen nacional, equivalente a 7.6 millones de toneladas. Los principales países exportadores son: la Unión Europea participó con 2.6 millones de toneladas, equivalente a 34.1%. Estados Unidos con 2.4 millones de toneladas, es decir, 31% del total. El tercer país es Canadá, al totalizar 1.2 millones de toneladas o 17.1% del total.

Mientras que los países importadores sobresale Japón con 18.3%, lo que se traduce en 1.3 millones de toneladas. El segundo país importador mundial en términos de

volumen es China con 18%. México destaca como el cuarto comprador a nivel mundial, al participar durante 2011 con el 10.1% del total global importado (Navarrete, 2012).

2.1.6.2 Entorno nacional

En México se consumen anualmente 1.98 millones de toneladas de carne de cerdo, de los cuales, 618 mil se adquieren en el extranjero y el volumen de consumo *per cápita* anual se ubica en 15.7 Kg (FIRA, 2016; Morales, 2017).

En México los principales estados productores de carne de cerdo son: Jalisco 19.5 %, Sonora 17.3 %, Puebla 12.2 %, Veracruz y Yucatán 9.3% y Guanajuato 8% (FIRA 2016; Morales, 2017). Durante 2011, la balanza comercial mexicana de carne de porcino fue deficitaria en una relación 10:1, en donde por cada tonelada de carne de porcino que se exportó se importaron 10 toneladas (CIAP, 2014).

Las exportaciones de carne de porcino se ubicaron en 97.059 mil toneladas, mientras tanto, las importaciones en nuestro país totalizan 618.0 mil toneladas de carne (FIRA, 2016; Morales, 2017). El 80% de las exportaciones mexicanas de carne de porcino se encuentran en Asia (Japón, Corea) y EUA. Las exportaciones a Japón totalizaron 85 mil toneladas durante 2014. Las exportaciones al mercado japonés presentaron una marcada caída durante 2009, año en que se registró el episodio sanitario de la influenza A/H1N1, que afectó la percepción de la carne de cerdo mexicana en el mercado asiático. Actualmente, después de implementar campañas de reposicionamiento de la imagen del producto nacional, el volumen de compras se ha recuperado (Navarrete, 2012). La relación de las importaciones de carne de cerdo en nuestro país está concentrada en Estados Unidos con 93.4% del total importado y Canadá 6%(CIAP, 2014).

Se observa que en términos generales, la calidad de la carne que se exporta es muy superior a la calidad de la carne que se importa en nuestro país. Por lo general la carne llega congelada y registra notable perdida de agua, además de que su periodo de descomposición es menor. Considerando que Japón es el principal destino de la

carne de cerdo, es importante tomar en cuenta los altos requerimientos zoosanitarios y de calidad que demanda ese mercado asiático. A su vez la carne que se produce en México atraviesa por varios procesos Tipo Inspección Federal que aseguran una mayor calidad. Expertos internacionales consideran que los productores enfrentan condiciones buenas de rentabilidad tras varios años de severas condiciones de precios (Navarrete, 2012). Alrededor del mundo las tasas de consumo de carne de cerdo incrementan de manera paralela con la producción, eso es importante para los productores que están a la vanguardia de la competencia por mercados potenciales. Los consumidores y la orientación del mercado han sido identificados como los factores clave para el desarrollo de un exitoso futuro de la industria porcina hoy (Ngapo *et al*, 2003). El control zoosanitario de la carne de cerdo ha incrementado la percepción de salubridad e inocuidad de la carne (Ciobanu *et al*., 2011), lo que se ve traducido en avances en la producción y consumo mundial y nacional de la carne (Ngapo *et al.*, 2003). A pesar de la importancia económica que representa el sector porcícola, México a diferencia de otros países, no cuenta con un mecanismo de clasificación de la calidad de las canales y de la carne de cerdo (Cuaron, 2001). Esta situación provoca que en el mercado nacional de productos cárnicos porcinos, los diferentes eslabones de la cadena productiva (productores de cerdo en pie, introductores, rastros, plantas procesadoras, comercializadores, distribuidores, supermercados, carnicerías y consumidores finales), carezcan de herramientas objetivas para identificar, cuantificar y diferenciar la carne de cerdo con base en el nivel de calidad y por consiguiente las decisiones comerciales se toman de manera incorrecta, lo cual causa ineficiencias económicas y pérdidas de valor a lo largo de la cadena de producción-consumo (SAGARPA-INIFAP, 2011).

2.1.6.3 Cadena de comercialización

El cerdo de granja se clasifica según ciertos estándares: en cerdo supremo, producido generalmente en granjas tecnificadas; cerdo estándar, producido por las granjas semi tecnificadas y además el cerdo de traspatio. Los cerdos que han

finalizado su ciclo como reproductores, constituyen otra fuente como abastecimiento de animales (Cortés *et al.*, 2011). La comercialización del cerdo y subproductos es bastante amplia, lo que supone un sistema comercial complejo, ya que es necesario identificar el punto de partida que constituye el inicio del trayecto hasta el consumidor. El trascurrir de este proceso, ha sido calificado de anacrónico, costoso, especulativo, excesivo en intermediarismo, generador de acaparamiento y encarecedor del producto, generando diferentes imperfecciones en el mercado (Bobadilla y Martínez, 2010). El cerdo finalizando a pie de granja para llegar a matadero presenta tres transacciones de compra-venta. El productor vende al acopiador, también conocido como pepenador, quien le vende a su vez al intermediario y este último al comisionista o introductor. Los grandes productores del país han avanzado hasta alcanzar la distribución directa al mayoreo, vendiendo tanto a obradores, empacadoras y a detallistas. Las vías de comercialización y movilización del ganado no ofrecen al productor un escenario ventajoso, por el contrario, en muchas ocasiones están sujetos a criterios arbitrarios de los intermediarios. Estudios previos muestran en sus resultados que a precios corrientes, la participación del productor en el precio final pagado por el consumidor, fue del 26.22%, mientras que el de los intermediarios fue del 73.78% (Bobadilla y Martínez, 2010), sin embargo Gómez (2010) menciona que el 45% del precio pagado por el consumidor es el que llega al productor.

2.1.7 Canal porcina

Se entiende por canal al cuerpo del animal sacrificado humanitariamente, desangrado, sin pelo o cerdas, eviscerado (pudiendo permanecer riñones y grasa interna), con cuero y extremidades, abierto a lo largo de la línea media (esterno-abdominal) sin medula espinal, separada la cabeza del cuerpo por la articulación occipito-atloidea y adherida por los tejidos blandos al resto del cuerpo (NMX-FF-081-SCFI-2003).

Existen términos para referirse a la canal de acuerdo a la etapa del proceso en la que se encuentre, se le llama canal caliente después del sacrificio y faenado, previo al final del mismo y canal fría cuando ha sido lavada y escurrida cuya temperatura en el centro térmico de la pierna sea de 2 a 4°C, en un periodo no mayor de 24 horas (NMX-FF-081-SCFI-2003). La conformación de la canal se refiere a la distribución del cuerpo del animal ya sacrificado en su presentación como canal caliente o canal fría, se distinguen cuatro tipos de perfiles, que apoyan la descripción de sus características morfológicas, siendo estos: convexo, recto, subcóncavo y cóncavo (NMX-FF-081-SCFI-2003). La carne en canal es el resultado de la transformación de la matanza donde se retiran vísceras y subproductos. La matanza se realiza mediante tres modelos o vías: *in situ*, mataderos municipales y rastros TIF (Gómez, 2010). De la canal se obtienen dos tipos de cortes los primarios que representan aproximadamente el 50% del peso y cerca del 70% del valor de la misma y que contienen las piezas más importantes; los cortes secundarios que por diferencia representan el 50% restante del peso y el 30% del valor de la misma (Velázquez y Belmar, 1998).

Los cortes primarios que conforman la canal son los siguientes:

- Cabeza de lomo.

Es la porción terminal del músculo gran dorsal y de otros músculos que cubren las nueve vértebras cervicales. Limita con el brazuelo y con el lomo, es de alto contenido graso y se usa principalmente en embutidos (NMX-FF-081-SCFI-2003 y Pulkrábek *et al*., 2006).

- Entrecot.

Es el corte de la parte dorsal de la canal, cuyos límites son en la región anterior, una línea perpendicular a plano medio que pasa a la altura de la primera costilla y la parte posterior por una línea ligeramente oblicua que atraviesa la cuarta vertebra sacra, la base ósea de este corte la constituye prácticamente toda la columna vertebral, a excepción de las vértebras cervicales y caudales de este corte, están

dadas primordialmente por los músculos gran dorsal, dorsal ancho y largo dorsal. Incluye hueso. Es el corte de mayor valor comercial (NMX-FF-081-SCFI-2003 y Pulkrábek *et al*., 2006).

- Costillar.

Es el corte que se obtiene de la parte lateral del tercio intermedio de la canal y que tiene como límite superior la región inferior del corte de lomo en el tórax, la porción anterior de este corte es continuación de la del lomo anterior, sigue al contorno del esternón y la línea curva paralela al borde de las costillas, concluye en un punto situado aproximadamente a 5 cm de la última costilla. Este corte no tiene base ósea, ya que las masas carnosas se separan de las costillas (NMX-FF-081-SCFI-2003 y Pulkrábek *et al*., 2006).

- Espaldilla.

Este corte se extrae del tercio trasero de la canal y se aplica a la región de las extremidades anteriores y está conformada por las masas musculares que rodean a la escapula (paleta), el humero, cubito y radio hasta la altura de la articulación del menudillo (carpiana). Su límite superior lo constituye la cabeza del lomo. No incluye hueso (NMX-FF-081-SCFI-2003 y Pulkrábek *et al*., 2006).

- Pierna.

Este término aplica a la región de las extremidades posteriores (piernas) y está conformada únicamente por las masas musculares cuya base ósea son el extremo anterior del pubis y la totalidad de los huesos denominados: fémur, tibia y peroné. La parte superior de esta región limita con las vértebras caudales, la anterior con los músculos rectos del abdomen y la parte inferior con la articulación tibio-tarsiana. Incluye hueso (NMX-FF-081-SCFI-2003 y Pulkrábek *et a*l., 2006).

Dentro de los cortes secundarios se encuentran: el espinazo, codillo, manos, cabeza, etc.

Huff-Lonergan *et al.* (2002) clasificaran las canales de cerdo tomando en consideración los aspectos de calidad:

a) Cualitativos: pH de la carne de la canal, marmoleo, color, olor, textura, firmeza de la carne y de la grasa.
b) Cuantitativos: peso, porcentaje de rendimiento de la canal o kilos de cortes primarios, profundidad de la grasa dorsal, espesor muscular y longitud de la canal.

Recientemente la calidad de la canal se ha convertido en uno de los objetivos principales para la producción porcina. (Gentry *et al.,* 2004) y su determinación se basa en evaluar las canales lo antes posible al momento de la venta, ya que conocer su valor es requerido para el acuerdo económico entre el proveedor y la industria procesadora (Pulkrábek *et al*., 2006).

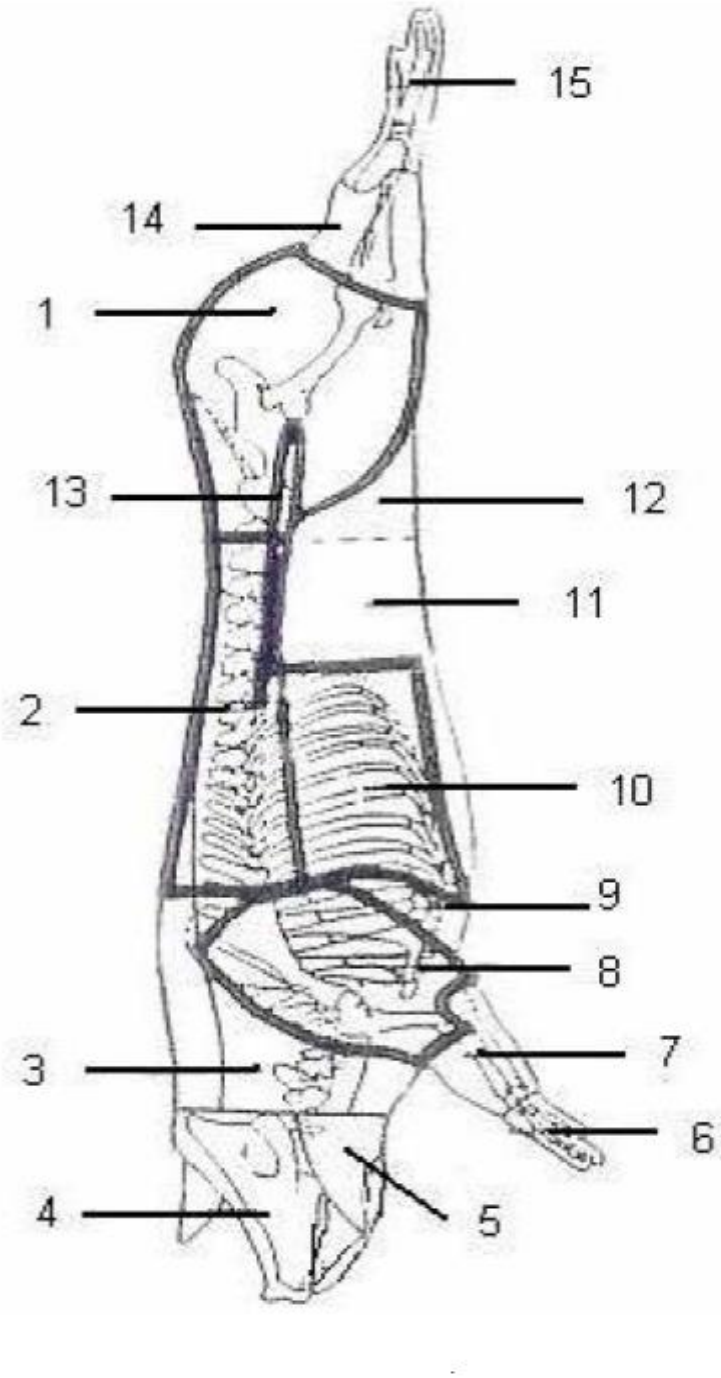

Figura 1. Disección de la canal porcina (Pulkrábek *et al*., 2006) Donde: 1. Pierna 2. Lomo 3. Cabeza de Lomo 4 + 5 Cabeza + Papada 6 + 7 Codillo + Manitas 8. Espaldilla 9. Pecho 10. Costillar 11. Panceta 12. Filete 14. Canilla 15. Manitas.

2.1.7.1 Aspectos cualitativos de calidad de la canal

El nivel de exigencia sobre la calidad de la carne y sus derivados es cada vez mayor, el concepto de calidad tecnológica y sensorial de la carne es el termino más definido, puesto que en él se manejan unos indicadores claros, concisos y que son de fácil medición, sobre todo en lo que hace referencia a las cualidades organolépticas de color, jugosidad, textura, sensaciones olfativo-gustativas (flavor), capacidad de retención de agua, grasa intramuscular o veteado, grasa subcutánea o espesor de grasa dorsal, tejido muscular y terneza (Cheftel *et al.,* 2000). La importancia de los diferentes aspectos cualitativos difiere en función del segmento de la cadena cárnica que los analice, esto quiere decir que al hablar de calidad de carne, se debe definir primero en qué eslabón de la cadena productiva nos encontramos: consumidor final, matadero, proceso y el punto de vista del productor (Cortés *et al*., 2011). Las propiedades de la carne fresca determinan su utilidad para el comerciante, su atracción para el consumidor y su adaptabilidad para procesados posteriores (Forrest *et al.,* 1975).

2.1.7.1.1 Firmeza y textura

El sabor y la textura de la carne dependen de las condiciones ambientales donde fue criado el animal, de la alimentación, de la edad, del estado de salud, del sexo, del manejo de la canal, del proceso de despiece y de los tipos de cortes (Lebret *et al.,* 2006).

Muchos factores, como el estado de rigidez, las propiedades asociadas a la retención de agua, la grasa intramuscular, el tejido conectivo y el tamaño de los haces contribuyen a estas propiedades físicas. La textura es una función del tamaño de los haces de fibras dentro de los septos permisios del tejido conectivo que dividen longitudinalmente al músculo (Warris, 2003). La tosquedad de la textura aumenta con la edad, la dureza es mayor en los músculos de los machos y en aquéllos de gran corpulencia. La impresión general de la blandura al paladar incluye además de

la textura otros tres aspectos: la facilidad inicial de penetrar los dientes en la carne, la facilidad con que se desintegra la carne y la cantidad de residuo que queda después de la masticación (Lawrie, 1998).

2.1.7.1.2 Color

Los factores que más contribuyen al color de la carne son los pigmentos que absorben ciertas longitudes de onda de la luz y reflejan otras, sin embargo otros factores influyen, como la estructura y textura de los músculos (Forrest *et al.,* 1975). El color de la carne no es sustancialmente debido a la hemoglobina a menos que el desangrado hubiera sido defectuoso, la apariencia de la superficie depende no solo de la cantidad de mioglobina presente, entre un 80-90%, sino también del tipo de molécula de mioglobina, de su estado químico y de las condiciones físicas y químicas de otros componentes de la carne (Lawrie, 1998). Los dos pigmentos tienen una estructura similar, la mioglobina está formada por una porción proteica (globina) y una no proteica (anillo o grupo hemo), el color de la carne depende, en parte, del estado químico del hierro dentro del núcleo o anillo hemo (Forrest *et al.,* 1975). La reacción de los pigmentos con cualquiera de una serie de productos puede determinar modificaciones en el color de la carne. Cuando el hierro está oxidado (en estado férrico), no puede combinarse con otras moléculas, esto ocurre cuando solo existen pequeñas cantidades de oxígeno y después de la exposición de la carne al aire, toma esta un color marrón; si el hierro se encuentra reducido (en estado ferroso) se combina fácilmente con el agua como en la carne sin despiezar o con el oxígeno como en la carne expuesta al aire, al reaccionar el oxígeno molecular con el hierro reducido de la mioglobina, proporciona el color rojo de la carne fresca (Hui *et al.,* 2001; Hui, 2006). Dietas bajas en hierro conduce a bajas concentraciones de mioglobina. La cantidad de mioglobina tiene una alta variación debido a la edad, sexo, músculo del que se trate, actividad física, alto nivel de actividad muscular induce a la elaboración de más mioglobina, por lo que hay una

gran variabilidad del color de la carne. El color más típico de la carne de cerdo es rosa grisáceo (Lawrie, 1998).

Las condiciones de *rigor mortis* anormal tienen efectos en el color de la carne, la carne con apariencia pálida, suave y exudativa (PSE) es provocada por la rápida caída de pH en músculo mientras está caliente, causa desnaturalización de las proteínas que incrementan la reflectancia más allá de lo que ocurre de manera normal en las proteínas en *rigor*. La carne oscura (DFD) al corte es de un rojo oscuro debido a razones opuestas, las proteínas desnaturalizadas son irreflejantes, entonces la carne tiene una apariencia más oscura debido a la absorción de luz. La capacidad de retener agua de este tipo de carne es alta, por lo que no hay pérdida de mioglobina a través del goteo. La tasa de consumo de oxígeno es alta entonces la superficie brillante es pobre (Hui *et al.,* 2001).

2.1.7.1.3 Capacidad de retención de agua

Se define como la capacidad de la carne de retener su agua durante la aplicación de fuerzas externas, tales como cortes, calentamiento, trituración y prensado (Forrest *et al.,* 1975). Es un importante factor de calidad porque afecta la carne antes de cocinarla, durante el cocinado y su jugosidad al masticar la carne cocinada (Lawrie, 1998). La capacidad de retención de agua tiene un efecto durante el almacenamiento. Cuando los tejidos tienen poca retención de agua, las pérdidas de humedad y de peso durante su almacenamiento son grandes. Esta pérdida de la humedad tiene lugar en las superficies musculares de la canal, expuestas a la atmosfera durante el almacenamiento. El agua libre y las proteínas solubles asociadas, exuda a partir de los cortes y se acumula en torno de la carne, volviendo menos atractiva para su consumo (Hui, 2006).

La disminución de la capacidad de retención de agua se manifiesta por la exudación de un líquido que se conoce como “weep” cuando procede de carne que no ha sido cocinada ni congelada, como “drip” al descongelar carne no cocinada y como “shrink” en las carnes cocidas (Lawrie, 1998).

Generalmente después del sacrificio las canales reciben algún manejo para prolongar su conservación, la mayoría de las veces es la aplicación de frio, los métodos actuales de refrigeración permiten que la modificación de la carne sea mínima aunque siempre existe una merma de peso, en los cerdos es de 0.7-1.3% de su peso (“chilling”). Cuando se ocupa la técnica de conservación por congelación no se altera la composición química de la carne, pero la pérdida ocurre en el proceso de descongelación, teniendo pérdidas de 8-10% del peso total (Legarreta, 1990).

2.1.7.1.4 Terneza

Los componentes del músculo que definen la terneza son las proteínas estructurales y contráctiles, que juntas componen el aparato contráctil, más las proteínas del tejido conectivo que transmiten la fuerza contráctil al esqueleto (Coma y Piquer, 1999). El tejido conectivo, dominado por colágeno, define la dureza de respaldo en carne y es difícil de cambiar, en contraste, la terneza debido al aparato contráctil puede fácilmente ser modificada por las condiciones de procesamiento. La terneza está relacionada con el acortamiento *postmortem* de las fibras musculares, éste puede darse por rigor o por frio (Hui *et al.,* 2001; Hui, 2006). Existen variaciones en la suavidad, aun procediendo de la misma canal. La mayoría de los músculos de la mitad superior a lo largo del animal son más suaves que los de la mitad inferior. El tejido conectivo del músculo puede ser el principal contributario a la dureza de la carne de un animal maduro y especialmente de los músculos que han tenido mucho trabajo, la carne de un animal joven puede hacerse dura dependiendo de la manipulación que tenga su canal (Coma y Piquer, 1999). El rigor en los cerdos se desarrolla en menos tiempo y desaparece más pronto, aproximadamente en un día. Un músculo que se enfría cuando aún está unido al hueso será más suave que si se separa. Si se mantiene la canal a temperatura elevada (16°C) de 16 a 20 horas después de muerto en vez de enfriarlo inmediatamente, aumenta la suavidad del musculo un 47%. En general los músculos con menos tejido conectivo muestran una mayor respuesta en suavidad y longitud de los sarcomeros (Charley, 2012).

2.1.7.1.5 Grasa intramuscular

La grasa intramuscular tiene un papel muy importante en la terneza y jugosidad de la carne, además de que su presencia es importante para la calidad sensorial. La mejora en la terneza podría estar dada porque la grasa blanda diluye el efecto de los elementos miofibrilares, más duros, reduciendo de ésta manera la

fuerza de corte o porque la grasa reduce la rigidez de la estructura muscular (Warris, 2003), aunque otros autores no coinciden, sosteniendo que la grasa intramuscular no contribuye a la suavidad (Charley, 2012). La mejora en la jugosidad puede deberse a que la grasa promueve la secreción de saliva en la boca (Warris, 2003), además de que al derretirse lubrica la carne (Charley, 2012). Los niveles de grasa intramuscular tienen cierta variación debido a la raza de procedencia del cerdo (Schinckel *et al.,* 2008). La grasa insaturada es más susceptible a la oxidación y a la rancidez, por lo que la carne con este tipo de grasa no servirá para el almacenamiento. Otra desventaja de la grasa blanda es que no contribuye a la firmeza de las piezas, la escasa consistencia de grasa en cerdos magros provoca una baja consistencia en la carne, además las capas de grasa tienden a separarse del músculo sobre el que se asientan. La grasa es más blanda porque es menos saturada y porque el tejido adiposo contiene más agua y por lo tanto menos grasa en proporción (Warris, 2003).

2.1.7.2 Aspectos cuantitativos de calidad de la canal

Existen parámetros que determinan la calidad de la canal, como: porcentaje de magro, conformación (Coma y Piquer, 2000), longitud de la canal, músculos del área del lomo y espesor de la grasa dorsal (Ciobanu *et al.,* 2011). Línea genética, genotipo materno, sexo, peso, estrategias de alimentación, manejo en granja, etc., son factores tomados en cuenta para la producción de diferentes mercados y programas de calidad de la carne y la industria porcina también se vale de éstos para incrementar la uniformidad de la canal (Alonso *et al*., 2010).

2.1.7.2.1 Rendimiento de la canal

Se define como la relación entre el peso de la canal y el peso vivo expresado en porcentaje y ha resultado ser un valor muy importante para la determinación de

la calidad de la canal; el valor de la canal generalmente aumenta cuando éste aumenta (Pulkrábek *et al*., 2006), se puede calcular en referencia a la canal caliente y/o fría aplicando un modelo matemático para predicción de rendimiento magro. Según la NMX-FF-081-SCFI-2003 se consideran dos tipos de rendimiento, en canal y en cortes primarios. El rendimiento en cortes primarios es la proporción del peso de los cortes primarios expresada en porcentajes, respecto al peso de la canal; los cuales deben ajustarse debido a la merma por refrigeración de la canal. Se toman en cuenta cinco cortes primarios (cabeza de lomo, entrecot, costillar, espaldilla y pierna). Este rendimiento podrá ser medido a partir de la relación existente entre el peso de la canal y la profundidad de la grasa dorsal a la altura de la última costilla, con el peso de los cortes primarios (NMX-FF-081-SCFI-2003). El porcentaje del rendimiento magro es definido como el peso de carne magra de los cortes principales expresado en porcentaje con relación al peso frío, las canales de mayor peso producirán cortes más pesados y mayor tejido magro que las canales ligeras lo cual puede aumentar la magnitud del coeficiente de correlación de los valores de las ecuaciones de regresión (Jones y Haworth, 1983).

2.1.7.2.2 Profundidad de grasa dorsal y diámetro del músculo gran dorsal

La grasa dorsal es la que recubre la canal, localizada a lo largo de la línea dorsal o del lomo (O´Rourke *et al*., 2005), desde las vértebras torácicas hasta las lumbares, también conocida como lardo (NMX-FF-081-SCFI-2003). La profundidad de la grasa dorsal es la medida de mayor uso para la predicción de la composición de la canal debido a que:

i) Puede tomarse en cerdos vivos con instrumentos de ultrasonido y

ii) Representa un valor predictivo del porcentaje de la grasa de la canal (Ciobanu *et al.,* 2011). La profundidad de la grasa dorsal a la última costilla y la profundidad de grasa dorsal a la altura de la décima costilla son puntos importantes de uso en modelos de predicción (O´Rourke *et al.,* 2005). v

2.1.7.2.3 Peso y longitud de la canal

El peso de la canal es la cantidad expresada en kilogramos del animal posterior a su sacrificio, puede ser caliente o fría y deben de tener unos pesos determinados para poder ser escogidas en su transformación posterior, con el fin de asegurar cierta homogeneidad se realizan rangos de pesos dentro de los cuales deben de estar la mayoría de los animales sacrificados (O´Rourke *et al.,* 2005).

2.1.7.3 Factores que afectan el rendimiento de la canal

Los factores que afectan al rendimiento de la canal son: tipo genética, sexo, peso, alimentación, duración del ayuno, duración del transporte (Eguinoa *et al*., 2006), tiempo de espera en las jaulas del rastro, los modelos de vehículos usados para el transporte pueden resultar en consecuencias negativas para el bienestar animal y aumentar el riesgo de muerte (Schwartzkopf-Genswein *et al.,* 2012). El color, la capacidad de retener agua y el pH de la carne, están fuertemente influenciados por el grado y duración del estrés a que ha sido sometido un cerdo antes de la faena, así como por la temperatura que tenga su musculatura, justo antes y durante las primeras dos horas transcurridas después del sacrificio (SAGARPA-INIFAP, 2011).

2.1.7.3.1 Selección Genética

La capacidad de un cerdo para producir carne en cantidad y calidad, proviene de su genética (SAGARPA-INIFAP, 2011). La selección genética del ganado porcino durante los últimos años, ha sido dirigida hacia la consecución de animales con una elevada capacidad de crecimiento del tejido muscular, un estado de engrasamiento reducido y una elevada eficacia de transformación del alimento en carne, por lo que los cerdos modernos tienen un elevado potencial de crecimiento

magro y un apetito reducido (Woltmann *et al.,* 1992 y Edwards *et al.,* 2003). Las razas Duroc, Pietrain y líneas derivadas, son muy populares en Europa debido a su alto potencial para mejorar la composición y características de calidad cárnica, sin embargo la última, incide en presentar el gen mutante del receptor Ryanodine, el cual tiene efectos detrimentales en la calidad de la carne, actualmente ya se disponen de poblaciones que son homocigotas dominantes para este *locus* (Edwards *et al.,* 2003). La ingesta es uno de los principales componentes de respuesta de selección cuando se quiere seleccionar en base a la tasa de crecimiento, pero por otro lado la eficiencia alimentaria también contribuye. La selección para la ganancia de peso en base a la ingesta de alimento ha sido una alternativa propuesta para mejorar el rendimiento. Sin embargo cambios en el sistema de precios hacia más énfasis sobre el rendimiento magro de la canal incrementará la importancia de la selección genética para controlar la ganancia magra (Woltmann *et al.,* 1992).

2.1.7.3.2 Alimentación

La dieta puede influir en fallas de la estructura músculo-esquelética, como cuando existen deficiencias o desproporciones muy graves en los nutrientes. Existe una relación entre el consumo de energía y la deposición proteica determinada por el genotipo del animal, la cual consiste en que a medida que el cerdo aumenta su consumo de una dieta equilibrada, la deposición de proteína aumenta linealmente con cada incremento en la ingesta de energía hasta que alcance un límite, que representa la máxima deposición proteica (Coma y Piquer, 1999). Con ingestas de energía superiores a las que permite el máximo crecimiento de tejido magro, toda la energía extra que retiene el animal se acumula en forma de grasa. A pesar de que existen pequeñas diferencias dentro los distintos genotipos modernos, todos ellos están dentro de los parámetros óptimos de calidad tecnológica de la carne (Serrano *et al.,* 2009). En cerdos jóvenes (hasta 45-50 Kg.) la menor capacidad de ingesta del animal limita su deposición de proteína, cuando se evalúa la deposición

proteica en respuesta a niveles crecientes de ingesta de energía, solo se observa una relación lineal. En cerdos mayores (a partir de 50 Kg.) el efecto del apetito depende de su perfil genético y así, en ocasiones la ingesta voluntaria de energía supera las necesidades para la deposición máxima de proteína, observándose una tendencia al engrasamiento, particularmente a pesos elevados y más marcadas en machos castrados que en hembras y más en estas últimas que en machos enteros (Lebret *et al.,* 2006). La restricción alimentaria también resulta con efectos en el rendimiento, ya que puede reducir la ingesta e incrementar el porcentaje magro (Woltmann *et al.,* 1992), Serrano *et al*., (2009) encontraron que los cerdos alimentados *ad libitum*: crecen más rápido, tienen mayor rendimiento de la canal, canales menos magras, canales de mayor tamaño y jamón y pecho de menor tamaño, que los cerdos con restricción alimenticia; es importante tener en cuenta que los animales de mayor tamaño son propensos a depositar más grasa (Wolmann *et al.,* 1992). Otros autores encontraron que los cerdos con restricción alimenticia durante la fase de crecimiento mostraron un incremento compensatorio en su consumo diario de alimento en la fase siguiente donde fueron alimentados *ad libitum*. Sin embargo la restricción alimenticia no afecta la conversión alimenticia, indicando que moderadas restricciones del consumo diario de alimento tiene poco o ningún efecto sobre las características de productividad pero si en rendimiento de la canal (Serrano *et al.,* 2009). Al comparar dos líneas (rápido contra lento crecimiento), se encontró que la línea de rápido crecimiento fue 2.8% más eficiente que la de lento crecimiento en un sistema de alimentación *ad libitum*, mientras que en un sistema de alimentación restringida los fueron 6.7% más eficiente la línea de rápido crecimiento que la de lento crecimiento. Estos porcentajes fueron el resultado de 4 generaciones de cruzamientos de líneas de rápido crecimiento, donde tuvieron mayor restricción alimenticia, aun cuando fuera *ad libitum*, debido a la alta relación positiva de la ingesta de alimento con el peso vivo (Woltmman *et al.,* 1992).

Las grasa dorsal fue más insaturada en cerdos alimentados *ad libitum* que en restringidos, lo que indica que la restricción afecta el potencial adipogenico del cerdo, reduciendo la capacidad de sintetizar y almacenar grasa. Se ha reportado que el incremento de ácido linoleico reduce la calidad de la grasa e incrementa la

tasa de oxidación lipídica, seguida de efectos negativos en el color y sabor de la carne fresca (Serrano *et al.,* 2009). El objetivo de la producción para consumo es obtener un cerdo con la mayor proporción de músculo y la cantidad de grasa subcutánea mínima requerida por el consumidor y necesaria para su correcta conservación. La estimación del nivel de engrasamiento es expresada en milímetros de espesor de grasa dorsal (Kosovac *et al.,* 2007).

2.1.7.3.3 Sexo

Cuando se comparan las canales de cerdos machos enteros con las de hembras de peso similar, se observa que las de los primeros proporcionan cortes más magros y menos grasos que las de las segundas. Las canales, tanto de hembras como de machos castrados proporcionan un menor rendimiento en cortes magros y más grasa que las de machos y hembras. Las hormonas más importantes generadas en los testículos son los andrógenos, hormonas esteroides que ocasionan cambios manifiestos en el metabolismo corporal; los andrógenos estimulan el desarrollo muscular; aumentan la velocidad de la síntesis proteica, lo que se traduce en un incremento del peso corporal; el aumento de la síntesis proteica en los músculos esqueléticos se acompaña de una menor deposición de grasa. Los músculos del cuarto anterior del macho, especialmente los del cuello y agujas, están más desarrollados que en las hembras o castrados (Latorre *et al.,* 2004). El rendimiento del crecimiento y el rendimiento de los cortes primarios es mayor en hembras que en machos castrados (Serrano *et al*., 2009). En este mismo trabajo, Serrano *et al*., (2009) no encontraron diferencias entre sexos para el porcentaje de rendimiento de la canal, pero encontraron que los machos castrados tienen mayor profundidad de grasa dorsal y canales de menor tamaño que las hembras. Además también observaron que el sexo no afectó características de calidad de la canal como: pH, pérdida por goteo, ni pérdida de peso por descongelamiento.

2.1.7.3.4 Factores ambientales

La relación entre el tipo de fibras musculares y la calidad cárnica no está totalmente entendida, teniendo en cuenta que el tipo de éstas es altamente variable. Factores como el clima, sistema de alojamiento, tienen repercusión en el crecimiento y rendimiento posterior del cerdo (Lebret *et al.,* 2006). Se ha encontrado que la actividad física de los cerdos incrementa la sección transversal de las fibras musculares, además de que se ha reportado que los sistemas de alojamiento han tenido efecto en características de calidad cárnica como la terneza (Gentry *et al.,* 2004).

Los cerdos criados al aire libre son menos magros y la variación estacional juega un papel importante en la deposición de grasa. La carne proveniente de cerdos nacidos y criados al aire libre tiene un color rojo más intenso y esto es debido a los componentes del sistema de producción, como espacio, suelo y vegetación. Las condiciones climáticas pueden jugar un papel importante en el desarrollo del cerdo en sistemas de producción al aire libre, los cerdos en la etapa de finalización crecen más rápido en sistemas cerrados, tanto en verano como en invierno (Kosovac *et al*., 2009b). Woltmman *et al*., (1992) al comparar la tasa de crecimiento de dos líneas genéticas especializadas diferentes (crecimiento rápido vs crecimiento lento) durante primavera y otoño, encontraron que el peso a sacrificio es mayor para la línea de crecimiento rápido durante verano, pero la profundidad de grasa dorsal en la canal también es mayor comparada con la línea de crecimiento lento, sin haber diferencias respecto al porcentaje total de grasa respecto al peso de la canal, sin embargo durante otoño la línea de crecimiento lento tiende a aumentar su porcentaje de grasa y disminuir el porcentaje de carne magra, el peso al sacrificio fue mayor para ambas líneas durante otoño respecto a primavera. Para ambas líneas el promedio de consumo de alimento fue mayor durante otoño cuando fueron alimentadas *ad libitum*; cuando el alimento fue restringido la ganancia diaria de peso fue mayor en otoño.

2.1.7.3.5 Transporte y manejos pre-sacrificio

Entre más tiempo transcurra desde la salida de la granja hasta la llegada al rastro mayor será la merma, a mayor peso de cerdo será mayor la baja de peso. El cerdo baja de peso rápidamente en las primeras dos horas posteriores al embarque y después lo hace cada vez más lentamente hasta que se estabiliza a las diez horas y se mantienen por lo menos a las 12 horas (Velarde y Dalmau., 2012).

La calidad cárnica puede también basarse en criterios éticos, particularmente los que están relacionados con el medio ambiente y el bienestar animal. A pesar del énfasis sobre los efectos negativos del estrés durante el manejo pre sacrificio, el cual resulta en pérdidas cárnicas cuantitativas y cualitativas, los mecanismos involucrados se desconocen, con la excepción de situaciones que causen daño físico a las canales o el resultado de la caída del glicógeno muscular (Paranhos da Costa *et al.,* 2012). Durante la movilización, el bienestar animal se ve afectado por estrés, lesiones, fatiga, mortalidad y morbilidad debido a varios factores (acceso al alimento, condiciones climáticas, ruido, vibraciones, mezcla de animales, etc.) del mismo modo la seguridad y calidad alimentaria, incluyendo el incremento potencial de la difusión de patógenos, carne DFD o PSE e incremento de daño a la canal por hematomas (Schwartzkopf-Genswein *et al*., 2012). Lo ajustes que el cuerpo tiene que hacer ante los cambios de ambiente se refleja en los músculos. Hay dos problemas fundamentales como consecuencia del estrés *ante mortem* al que pueden estar sometidos los porcinos: PSE y DFD (Méndez *et al.*, 2013). En ocasiones a pesar de trasladar a los animales distancias cortas y en un vehículo adecuado, 50% de las canales llegan a presentar hematomas, debido a: agresiones directas, alta densidad de carga, transportación inadecuada y agitación severa, como resultado del manejo agresivo y su alta reactividad, países como Uruguay implementaron evaluaciones de condiciones y desempeño del manejo en rastros y de manera significativa disminuyó el porcentaje de canales con hematomas, sin embargo debe haber un seguimiento a éstas evaluaciones, ya que al dejarlas de hacer, volvió a aumentar la incidencia de hematomas en canales (Paranhos da Costa *et al*., 2012). La ubicación de los cerdos en el camión de carga tiene impacto

sobre el bienestar y la calidad cárnica, alta tasa de lomos PSE se reportaron cuando los cerdos viajaban en la parte alta del transporte durante el invierno, mientras que una alta proporción de carne pálida, firme y no exudativa (PFN) en cerdos transportados en los pisos inferior y superior. Estos efectos están bastante ligados con el resultado del esfuerzo físico requerido por los cerdos para subir las rampas para llegar a estos compartimentos. Se ha reconocido la importancia del mantenimiento del bienestar animal durante el transporte así como el hecho de que la trasportación es una de las variables más importantes con respecto a la calidad de la carne y debe ser considerada un punto crítico de control. El estrés puede resultar en cerdos fatigados, lesiones, pobre calidad de carne y finalmente en la muerte. Es evidente que cuando la respuesta al estrés es mayor, la calidad de la carne es afectada (Schwartzkopf-Genswein *et al*., 2012).

La incidencia de carne PSE es bastante alta con un 22.8% de presencia, la cual primeramente fue atribuida a las deficientes condiciones pre-sacrificio, sin embargo la composición genética de los animales también debe de ser considerada, ya que la ocurrencia del gen HAL es alta en la población porcina (38.41%) (Paranhos da Costa *et al*., 2012). La incidencia más alta de carne PSE ocurre seguida de un recorrido corto (1h) con densidades bajas (0.25m^2/100kg) y concluyendo que, para prevenir la carne PSE, se recomienda un espacio disponible de 0.425 m^2/100 kg es aparentemente apropiado para viajes de una duración mayor a 3 horas (Schwartzkopf-Genswein *et al*., 2012). Sin embargo investigaciones hechas en Europa, generan conflicto sobre los efectos de densidad de carga sobre los parámetros de calidad de carne, dado que se confunden los efectos de genética, manejo y distancia transportada; por ejemplo se encontraron interacciones entre efectos sobre la intensidad de manejo en granja (dócil y agresivo) y baja densidad (0.38 contra 0.31/100kg) sobre la calidad de la carne, tuvieron un color más oscuro en los lomos de cerdos que tuvieron un manejo más agresivo y que fueron transportados a alta densidad (Schwartzkopf-Genswein *et al*., 2012). Los cerdos transportados distancias cortas (≤ 30 min) son más difíciles de manejar al llegar a la planta y pueden producir carne de menor calidad (PSE) que los cerdos transportados distancias largas. Sin embargo, los cerdos transportados por

duraciones ≥ 2 h pueden estar más ligados a producir carne DFD, particularmente durante el invierno, debido al efecto de estrés a largo plazo sobre las reservas de glicógeno muscular. Estudios recientes evaluaron el efecto de la duración del tiempo de transporte sobre la calidad de la carne, revelando que solo afecta la perdida por goteo y ese efecto fue relacionado con la interacción de la duración del ayuno (Schwartzkopf-Genswein *et al*., 2012 y SAGARPA-INIFAP, 2011). El ayuno tiene entre otras ventajas aumentar el rendimiento de la canal y facilitar el manejo en rastro; así mismo el pH final tiende a ser más favorable y se reduce la presencia de carne PSE y la merma de agua por escurrimiento, en el paso de la canal caliente a fría, se reduce sustancialmente (SAGARPA-INIFAP, 2011). La temperatura interna además del clima de acuerdo a la temporada, tiene efecto en la aparición de estrés y la falta de ventilación sumada con temperaturas muy altas pueden aumentar el porcentaje de muertes durante el transporte, aunque no solamente las altas temperaturas pueden provocar muerte, sino que las bajas también pueden hacerlo. El uso de bastones eléctricos para la movilización rápida de cerdos en rastro puede tener efectos negativos ya que los cerdos se amontonan, resbalan y caen lo que puede causar lesiones y fatiga muscular, resultando en un alto número de canales con hematomas debido a altos valores de pH debido al agotamiento de glicógeno y salpicaduras de sangre en el jamón al sacrificio (Schwartzkopf-Genswein *et al.,* 2012). El desangrado es la parte del proceso en que se cortan los principales vasos sanguíneos de cuello (seno de las cavas y carótidas) para permitir que la sangre drene del cuerpo, produciéndose la muerte por falta de oxígeno en el cerebro. Los cortes de estos vasos sanguíneos deben de asegurarse por completo, si alguno de los vasos no se corta el desangrado será incompleto, presentándose petequias en varios órganos y quedando retenida gran cantidad de sangre en los tejidos, lo que ocasiona que la carne se eche a perder antes de tiempo y disminuya su vida de anaquel (Velarde y Dalmau., 2012).

Hoy en día las políticas de exportación exigen que se cumpla la legislación en materia de bienestar animal, por lo que mantener el cuidado del manejo de los cerdos y con la aplicación de las normas correspondientes al bienestar animal, es probable que se abran mercados a la carne mexicana, además de que el interés de

los consumidores aumenta respecto a este tema. La producción de carne es costosa, por lo que no hay que desperdiciarla ni producir pérdidas por un mal manejo y falta de bienestar durante el proceso de matanza (Méndez, 2013). El aumento del interés por parte de los productores en Latino América por el bienestar animal, es por la asociación entre el pobre bienestar y las pérdidas cualitativas y cuantitativas en carne. Estas pérdidas son especialmente relacionadas a las muertes animales, incremento de hematomas en las canales y cambios en el pH de la carne, resultado de la deficiente aplicación de las prácticas de manejo previa al sacrificio (Paranhos da Costa *et al.,* 2012).

2.1.7.4 Proceso de la canal porcina

En nuestro país el abasto de carne de porcino se efectúa a través de una red de “valor de cerdo” que identifica varios eslabones en el canal de comercialización (granja, acopiador, rastro, mayoreo, medio mayoreo, industria y consumidor final) (UMSNH – FMVZ., 2012).

El sacrificio del ganado porcino se realiza tanto en rastros Tipo Inspección Federal (TIF) como en rastros municipales y privados. El más grande comprador de cerdo en México es la industria procesadora (elaboración de embutidos y carnes procesadas) (Cortés *et al*, 2012).

Los establecimientos de sacrificio de animales de abasto, frigoríficos e industrializadoras de productos y subproductos cárnicos, tienen el propósito de obtener productos de óptima calidad higiénico-sanitaria y deben de contar con sistemas de inspección y controles de alto nivel que aseguran productos sanos; por lo que sigue siendo necesaria la aplicación de los sistemas de inspección que se llevan a cabo en estos establecimientos (rastros, plantas industrializadas de productos y subproductos cárnicos) a través de personal capacitado oficial o aprobado (NOM-009-ZOO-1994). Para que una canal de cerdo sea motivo de clasificación debe cumplir además de los requisitos higiénico-sanitarios que exigen las autoridades pertinentes (Secretaria de Salud, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), con los siguientes requisitos: únicamente animales sacrificados en rastros Tipo Inspección Federal (TIF), que sean definidos como animales para el abasto, sin presencia de daños físicos y se excluirán aquéllas canales que presenten: carne PSE, presencia de grasa liquida, carne DFD u olor a macho entero (NMX-FF-081-SCFI-2003). El Rastro y Planta Industrializadora de Productos Cárnicos llevan a cabo procedimientos técnicos que son desarrollados con la finalidad de generar diversos productos cárnicos, además de servir de vínculo entre la producción primaria y la venta al consumidor y producir derivados cárnicos con altos estándares de calidad e inocuidad (UMSNH – FMVZ., 2012).

2.1.8 Determinación del valor de la canal

Se considera a la cantidad de carne producida uno de los elementos integrales de la calidad de la canal porcina. En orden que incrementa el volumen de producción y la calidad de la carne, más atención es dirigida a la determinación de la calidad de la canal porcina en diferentes etapas del proceso: *in vivo* previo al sacrificio, *post mortem* sobre la línea de sacrificio, por el método de dos puntos y el método de disección parcial sobre el lado izquierdo de la canal congelada (Kosovac *et al.,* 2007).

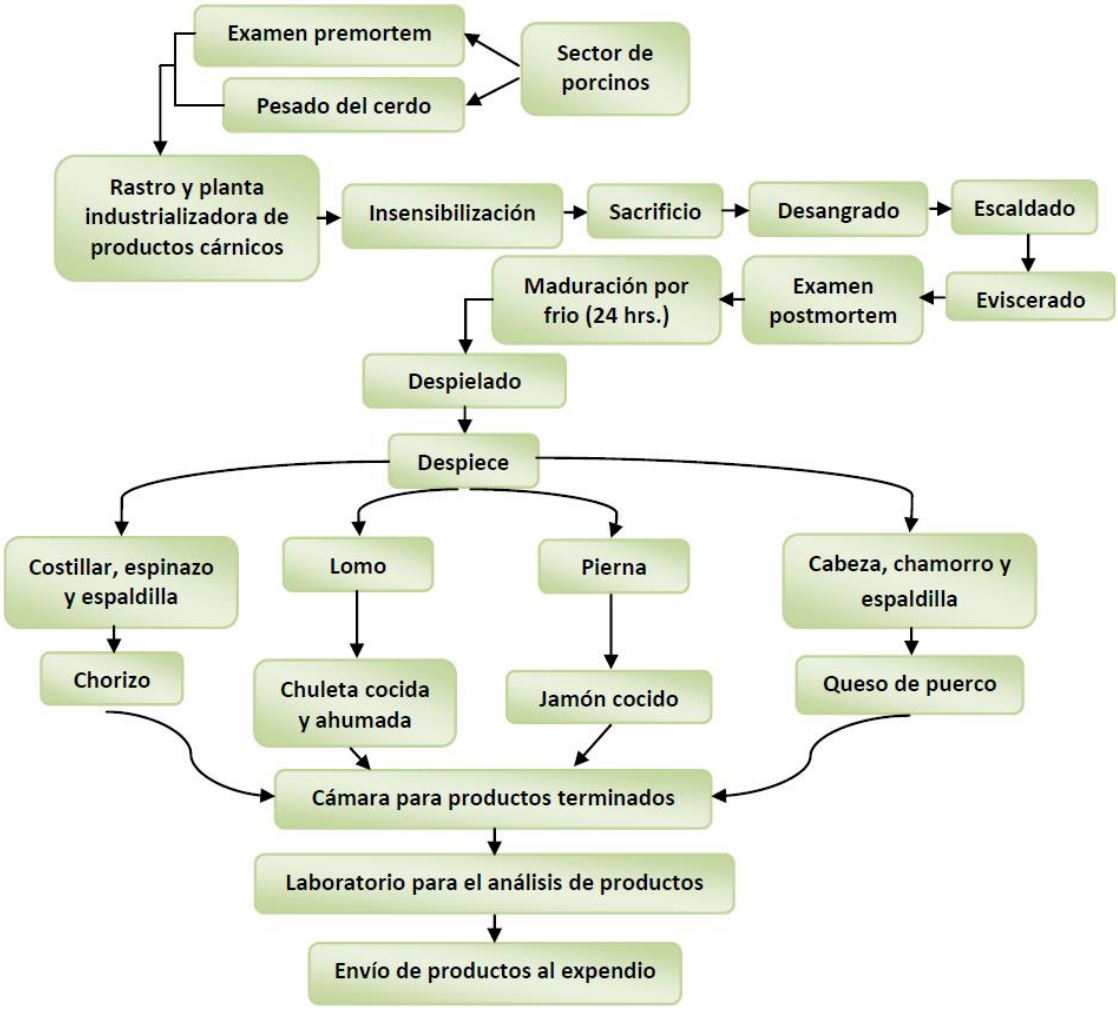

Figura 2.- Proceso de producción del rastro y planta industrializadora de productos cárnicos (cerdos) (UMSNH-FMVZ., 2012).

En diversas partes del mundo se obtiene el porcentaje de músculo de la canal y en base a esto realizan su valoración. Al conocer el rendimiento de las canales se sabe de manera más objetiva los kilos de cortes primarios que se obtendrán de cada canal y será más fácil calcular su valor, sin embargo el rendimiento magro disminuye con el peso de la canal y el mismo patrón es seguido por el porcentaje magro en cada uno de los cortes primarios. Si los cerdos tienen un rendimiento calculado mayor, el valor de las canales será también mayor, porque el precio de los cortes primarios es de 2.5 a 3.5 veces más alto que el resto de los componentes de la canal (Velázquez y Belmar., 1998). Para conocer el rendimiento en porcentaje se deberá de contar con un dispositivo de medición y sustituir los resultados en una

formula previamente diseñada. Existen métodos de predicción del rendimiento magro y del valor de la canal basados en mediciones de variables que tienen una alta correlación (Franco *et al*, 2007 y Hicks *et al*.,1998) tales como: peso del cerdo en pie, el peso de la canal caliente, de la canal refrigerada y el valor de la medición de la grasa dorsal en puntos específicos de la línea media (NMX-FF-081-SCFI-2003), variable cual tiene mayor determinación en la predicción del rendimiento magro y puede ser medida a través de instrumentos automáticos que se han diseñado recientemente (Bobadilla y Martínez., 2010). La relación negativa del espesor de la grasa con el rendimiento magro ha sido usada en esquemas de evaluación de la canal en muchos países, para dar un valor comercial a las canales porcinas. Jones *et al*., indican una disminución en el porcentaje de rendimiento de 3% por un 1 mm de incremento en la profundidad de grasa para su ecuación de regresión propuesta. Considerando el incremento de la importancia económica del engrasamiento de la carne de cerdo, se ha establecido dependencia o correlación entre parámetros de la calidad de la canal y rendimiento de la canal. Se espera que las empacadoras que usan diferentes tecnologías de medición, bastante precisos para disminuir los sesgos en las medidas (Hicks *et al.,* 1998), reciban para su venta una producción de genotipos magros con rendimientos sobre la media y a su vez estas pagarán más por canales con mayor rendimiento. La eliminación de sesgos resulta difícil debido a los continuos cambios en fenotipos de las poblaciones genéticas como resultado de la selección, cruza rotacional y la interacción del ambiente, por lo que clasificar las canales de acuerdo al sexo, genotipo y otras variables respecto a la producción, puede no ser efectivamente rentable y solo aumente los costos de operación.

2.1.8.1 Modelos matemáticos para la estimación de la predicción del rendimiento de la canal

La necesidad de implementar un sistema de pago en rastro es vital para una mejora en la calidad de los mercados (Coma y Piquer, 1999), por lo que el objetivo

de establecer ecuaciones de predicción del rendimiento de cortes primarios en canales porcinas es estimar con precisión elevada el porcentaje y cantidad de cortes primarios (Velázquez *et al*, 2005), lo que será de gran utilidad para establecer sistemas de pago diferencial y para evaluar el sistema de producción (Velázquez, 1998). Es sabido que no es posible determinar la cantidad de carne y tejido adiposo en la canal y sus cortes principales basándonos en el exterior. Sin embargo, mediante la aplicación de ecuaciones de regresión, eso es posible para determinar la cantidad de carne y grasa en la canal, sin tener que llegar a la disección, practica en la cual se reduciría desde el costo de producción y subsecuentemente el trabajo (Kosovac *et al.,* 2009). Las relaciones existentes entre la profundidad de la grasa dorsal, profundidad de la chuleta, peso de la canal y rendimiento magro o rendimiento de cortes primarios son la base de los sistemas de predicción. Para la elaboración de una ecuación de predicción de rendimiento es necesario primeramente detectar las variables más asociadas con el rendimiento de cada uno de los cortes primarios, lo cual se hace mediante un análisis de correlación múltiple seguido de un análisis de regresión lineal. El análisis de correlación no es un fin en sí mismo sino que su objetivo es establecer la pertinencia de la segunda fase o análisis de regresión. Considerando que los valores extremos del coeficiente de correlación son -1 y +1, la magnitud del coeficiente puede usarse como un indicador del grado o fuerza de correlación entre las variables: el grado es más fuerte entre más cercana se encuentre la magnitud a 1 y débil entre más cercana sea a 0. Posteriormente, el análisis de las variables aleatorias x_{ij} y y_{ij}, consiste en encontrar la función lineal, es decir con una ecuación que sirva para modelar la relación entre ellas, lo que es conocido como regresión lineal y a la línea resultante recta de regresión:

$$y=b_0 + b_1x+ \varepsilon$$

Donde:

y =

$\beta o=b_0$= el valor de la ordenada donde la línea de regresión se intersecta al eje Y.

$\beta 1 = b_1$= el coeficiente de regresión poblacional (pendiente de la línea recta)
ε = el error

El análisis de regresión describe estadísticamente la asociación o relación entre las variables de estudio y por tanto su fin no es calcular sin error sino obtener predicciones del valor de una variable, para un valor dado de otra variable; es usada para identificar la mejor combinación de variables independientes y las que tengan correlaciones significativas son incluidas en ecuaciones de regresión y de este modo se puede predecir el contenido de rendimiento magro (Jones y Haworth, 1983; Hicks *et al.,*1998 y Schinkel *et al.,* 2010). El objetivo de las ecuaciones de predicción es que exprese a "*y"* como función de las variables independientes, entonces si se pueden medir las variables independientes, se pueden sustituir los valores en la ecuación de predicción y obtener el pronóstico para *y.*

La exactitud de la ecuación de predicción es evaluada mediante R^2, la proporción de la sumas de los cuadrados de Y (variables dependientes) atribuibles a la información obtenida de las variables independientes y la desviación estándar residual (RSD) (la diferencia entre el valor de la desviación estándar actual y la predicha). Existen ecuaciones que se han diseñado previamente en diferentes países y regiones, sin embargo las ecuaciones son diferentes debido a múltiples factores: definición de magro, presentación de la canal, punto donde se efectúan las medidas, características de cada subpoblación porcina, etc. En todas ellas es de vital importancia el espesor de la grasa subcutánea y es aún mayor en aquellos casos en los que los animales se sacrifican a un peso superior de 110 kg. Este tipo de información es indicativo de la importancia de diseñar programas de manejo en función de las características propias de la región, tales como: genéticas, peso al sacrificio y datos de la canal obtenida en rastro de este modo se lograran canales con poco espesor de grasa dorsal y alto porcentaje magro (Jen y Squires., 2011). Sin embargo las medidas tomadas de las canales por diferentes tecnologías, están sujetas a errores específicos humanos y de los equipos (Schinkel *et al*., 1998). Uno de los más comunes está relacionado con la incorrecta ubicación o ángulo al cual la sonda óptica o de ultrasonido deber ser ubicada en a canal. Otra fuente potencial

de error debido a la tecnología es la medida correcta de las tres capas de grasa dorsal (Schinkel *et al*., 2014; Schinkel *et al.,* 2007)

El desarrollo de las ecuaciones de regresión comúnmente supone que las variables independientes son medidas sin error. La magnitud de los errores de las medidas y el tipo de error en las mediciones afecta el valor absoluto de los coeficientes de regresión y el sesgo del grado de predicción. Es posible que diferentes ecuaciones de predicción que incluyen diferentes grupos de variables independientes tomadas en locaciones anatómicas idénticas pero con diferentes niveles y tipos de errores en las mediciones puede resultar en ecuaciones de regresión drásticamente diferentes con:

1) diferentes valores de R^2 y RSD,

2) diferentes grupos de variables independientes estadísticamente significativas incluyendo cuadrática, cubica y variables de productos cruzados,

3) diferentes cambios en la predicción del rendimiento magro por unidad en las canales medidas y

4) diferentes magnitudes de sesgos de predicción para subpoblaciones específicas de cerdos (Schinkel *et al*., 2014; Schinkel *et al.,* 2007; Schinkel *et al.,* 1998).

La simulación de resultados indica que las ecuaciones de predicción desarrolladas de BFD con errores en las mediciones producirán sesgos en las ecuaciones incrementando el RSD (Hicks *et al.,* 1998). El desarrollo de ecuaciones con mediciones de canales con errores proporcionales a la magnitud a las actuales mediciones podría ligarse incluyendo variables extrañas. Por lo que las medidas deben de ser tomadas por personal capacitado y bajo ciertas condiciones para que resulte en la mínima magnitud de errores en la medición. Esto resultará en correlaciones más altas de las mediciones de la canal y ecuaciones más aproximadas en términos de su habilidad para estimar las verdaderas diferencias poblacionales entre sexo y genética. El procedimiento necesitara de una adaptación para la variación y tipo de errores en las mediciones. El método deberá ir incrementando la complejidad como el número y tipo de mediciones incrementen.

Las ecuaciones de regresión que incluyen dos o más mediciones pueden incluir numerosas variables cuadráticas, cúbicas y productos cruzados. El procedimiento debe resultar en ecuaciones de predicción que son más precisas y tienen una baja probabilidad de incluir variables independientes extrañas (Schinkel *et al*., 2014; Schinkel *et al*., 2007; Schinkel *et al.,* 1998).

2.1.8.2 Dispositivos de medición

El desarrollo de sistemas automáticos precisos para registrar la profundidad de grasa dorsal y otras variables para conocer el rendimiento en las canales porcinas sobre las rápidas líneas de sacrificio, fue el siguiente paso hacia una evaluación comercial de la canal (Jones, 1983). Para la obtención de las medidas se utilizan mediciones directas con reglas metálicas y diferentes dispositivos con una fórmula de cálculo para la obtención del porcentaje de carne magra (Cuaron, 2000). Muchas tecnologías han sido evaluadas para determinar la exactitud y precisión de para predecir el peso y el rendimiento (como porcentaje de la canal caliente) incluyendo mediciones con regla, sondas ópticas manuales, sondas de electroscopia reflectiva, dispositivos de escaneo ultrasonido automatizado, escaneo con ultrasonido, análisis biolectrico de impedancia, conductividad electromagnética corporal total (TOBEC) y más recientemente, análisis de videoimagen (McClure *et al.,* 2012). La relativa precisión de los instrumentos varía de acuerdo a la ubicación de la medición, la menor precisión se ha encontrado en lecturas tomadas a la altura del hombro y en la 2ª y 3ª vértebra lumbar, en cambio la mayor precisión para la predicción del rendimiento fue dada en lecturas a la altura media del lomo y en el lomo. Es difícil entender claramente por qué la ubicación de la medición para la predicción más precisa cambia de acuerdo a la variable dependiente elegida o la presentación de la canal (dividida o no dividida). Busk *et al.,* (1999) sugiere que las medidas de grasa tomadas en la región de la última costilla a la 2ª y 3ª vértebra lumbar, 5 a 10 cm separados de la línea media dan el porcentaje de rendimiento magro más aproximado. Estos sitios pueden ser fácilmente identificados sobre la

línea de producción con las canales cortadas sobre la línea media usando el lado izquierdo de la canal y un instrumento para determinar las mediciones. La adición de variables extras solo agrega mínimas cantidades a la cantidad de variación explicada. Sin embargo tomar varias mediciones en condiciones comerciales significa inversión de tiempo y esfuerzo extra para los trabajadores y sobre la rápida línea de sacrificio una sola medición del espesor de grasa probablemente sea suficiente y pueda proveer una adecuada predicción de contenido magro de las canales porcinas (Jones, 1998). Actualmente la mayoría de procesadoras cárnicas en Estados Unidos, Canadá y Europa usan ultrasonidos o sondas ópticas para predecir el rendimiento de la canal y valor de la canal (Schinckel *et al.,* 2010).

Dispositivo	Variables	Tecnología de medición	Compañía productora
Regla	Profundidad de grasa dorsal	Manual	
Sonda óptica	Profundidad de grasa dorsal y músculo a la altura de la 4ta costilla	Manual	Hennessy Grading Probe-HGP de Hennessy Grading System Ltd., Auckland, New Zealand. Manual.
Escaner electromagnetico (EMSCAN HA2, TOBEC)	Medición de tejido magro	Electromagnetismo	Meat Quality Inc., Springfield, Illinois, USA
Escaner ultrasonido (FOM, UFOM, AUTOFOM, SONOMARK SM 100M)	UFOM: Profundidad grasa y músculo dorsal. AUTOFOM 127 variables relacionadas al espesor de grasa y músculo	Ultrasonido	Classification Center-CC of Carometec A/S, Herlev, Denmark
VCS2000	Diferentes profundidades de grasa, espesor de músculo, áreas y relaciones entre ellas. Hasta 330 variables, en la parte interior de la media canal.	Sistema de electrovision	e + V Technology GmbH, Oranienburg, Germany. Vision

Cuadro 1. Diferentes dispositivos de medición para la predicción del rendimiento de la canal (Busk *et al*., 1999; Cisneros *et al.,* 1996; Furnols y Gispert., 2009; Jones y Haworth., 1983 y McClure *et al.,* 2003; Newcom *et al.,* 2002).

Existen diferentes dispositivos para la medición de variables de la canal empleadas en la predicción de rendimiento de cortes primarios. El uso de estos depende de las características de la canal y el momento en que se tomara la medición; existe una amplia variedad de acuerdo al grado de automatización, la cantidad de variables que mide y la tecnología de medición que emplea

Las canales calientes son evaluadas con: regla, Fat-O-Meater, Animal Ultrasound Services Carcass Value Technology Sysem (AUS) y Ultrafom 300. La regla es usada para registrar la profundidad de la grasa, incluyendo la piel, esta medición es tomada sobre línea media de la canal, en la última costilla (Johnson *et*

al., 2004) El dispositivo Fat o Meater es una sonda óptica que mide las diferencias en la reflectancia de luz cada 0.5 mm, ya que pasa a través de grasa y tejido muscular y registra la profundidad de cada tejido; empleando el método de los dos puntos descrito por Petrovic (1996).

El equipo de imagen consiste de un equipo de ultrasonido Aloka 500 V con un transductor para composición corporal de 3.5 MHz, las medidas son tomadas con el transductor ubicado longitudinalmente entre la 10ª y última costilla aproximadamente 6.4 cm a un lado de la línea media de la canal (Ayuso *et al.,* 2014; Johnson *et al*., 2004; Kosovac *et al.,* 2009). La interpretación de las imágenes es realizada con el software AUSKey. El UltraFom 300 dispositivo manual, es una sonda de ultrasonido en tiempo real con las mismas capacidades de medición que el Fat-O-Meater. Consiste de 64 elementos sensoriales que envían pulsaciones sonoras dentro de la canal a la medición de la grasa dorsal y profundidad de la grasa dorsal (Jhonson *et al.,* 2004) tomadas de manera perpendicular al músculo entre la tercera y cuarta costilla

El equipo VCS2000 de V Tecnología GmbH, Oranienburg, Germany Vision (Busk *et al*, 1999), lleva a cabo la clasificación de las canales de forma automática, ya que es un sistema de electrovisión que mide diferentes profundidades de grasa, espesor de músculo, áreas y relaciones entre ellas (total 330 variables), en la parte interior de la media canal (Furnols *et al*, 2009), Es un sistema de evaluación de la canal, completamente automático que incorpora una cámara de un color, imágenes de visión interna (cavidad corporal y expone la superficie de la columna vertebral) de la canal porcina. La salida de datos incluye medidas lineales de las dimensiones de la canal, las cuales son subsecuentemente usadas en algoritmos para predecir el porcentaje del rendimiento de la canal, peso magro total y pesos del rendimiento magro del: pecho, jamón con hueso, lomo con hueso, jamón sin hueso, lomo sin hueso, panceta y hombro de la canal porcina (McClure *et al.,* 2003). El sistema VCS201 actualmente incluye ecuaciones para predecir el porcentaje de rendimiento magro, peso magro total y pesos de jamón con hueso, lomo con hueso, rendimiento magro del lomo, panceta, pecho y hombro (McClure *et al.,* 2003).

Los resultados de la predicción del rendimiento magro y valor de la canal pueden presentar sesgos en los resultados y la magnitud del sesgo varía de acuerdo con la tecnología del equipo, genotipo y sexo. Las ecuaciones realizadas con mediciones tomadas con sonda óptica en combinación con escáner electromagnético, producen menores sesgos; una combinación de sonda óptica y tecnología TOBEC se usaron para predecir el rendimiento magro y obtuvo un coeficiente de correlación de 0.963 y una variación de 0.90 las ecuaciones que contenían peso de la canal caliente y profundidad de grasa dorsal a la altura de la última costilla, produjeron sesgos mayores (Hicks *et al*., 1998). Los métodos directos e indirectos tuvieron casi los mismos resultados, lo cual sugiere que cualquier método puede ser usado para estimar el valor de la canal de manera precisa. Las medidas estándar de la canal (peso de la canal, área del musculo dorsal y profundidad de la grasa dorsal a la 10ª costilla) produjeron la ecuación más aproximada. Una combinación de sonda óptica y EMSCAN fueron casi tan aproximada como los resultados de las medidas estándar de la canal (Schinkel *et al.,* 2014).

Con el uso de sonda óptica, los coeficientes de regresión para las medidas de grasa dorsal y peso corporal fueron positivas, mientras que los coeficientes para profundidad de músculo dorsal a la 10ª costilla y para la profundidad de músculo dorsal fueron negativos (Schinkel *et al*., 2010).

Kosovac *et al*. (2007) Utilizaron SONOMARK SM 100 M para determinar el rendimiento cárnico de la canal y clasificarlas *in vivo* en granja, este dispositivo es usado para la determinación de la calidad y rendimiento cárnico de la canal o media canal en animales vivos.

3. JUSTIFICACIÓN

El mercado nacional no tiene un comportamiento regular donde siempre se vendan cerdos de pesos altos, ya que quienes demandan materia prima, suelen comprar según haya mejor precio, sea en importaciones o en producto nacional. De tal modo que los productores nacionales, son dependientes de esta variabilidad y deciden vender sus cerdos cuando el precio los beneficie, ya sea que los vendan de menor peso si es que el precio les es favorable o que los vendan de mayor peso esperando que mejoren las opciones para la venta. Sin embargo, si se conoce el rendimiento magro de la canal, se puede obtener un beneficio económico favorable en cualquier temporada del año.

En las plantas empacadoras, donde los cerdos son llevados en grupos, existen sesgos en la evaluación a la canal debido a la variación que existe entre los individuos ya que generalmente reciben canales que provienen de diferentes granjas y estos cerdos son criados en ambientes distintos, con variaciones en manejos productivos, alimentación, genética etc. y puede ser de importancia en la determinación del valor en el mercado y en la estrategia óptima para su proceso, para lo que es necesario estandarizar una clasificación en base al rendimiento magro.

La importancia de conocer el rendimiento en cortes primarios de la canal es indispensable, ya que determinará su valor. Por lo cual se requiere de un modelo matemático de acuerdo a las variaciones de peso, genotipo, ambiente, métodos de sacrificio, que presenten las canales que se reciben en la planta procesadora. Contando con esta información se podrá pagar de manera justa la canal porcina, de este modo habrá un mayor interés del productor por mejorar el tipo de animal que envía al mercado.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Desarrollar un modelo matemático para obtener el rendimiento a cortes primarios de canales porcinas

4.2 Específicos

1. Recopilar datos de las mediciones de diferentes variables para la evaluación del rendimiento.
2. Obtener las variables más representativas para la predicción de rendimiento a cortes primarios de canales porcinas.
3. Evaluar el rendimiento a cortes primarios de la canal con el modelo matemático propuesto.

5. MATERIAL Y MÉTODO

5.1 Ubicación del estudio

El estudio se llevó a cabo en una empacadora Tipo Inspección Federal (TIF), ubicada en la ciudad de Puebla, en el estado de Puebla, México, donde se reciben materias primas cárnicas refrigeradas y congeladas para su proceso. En la empacadora ocurren en promedio 6 arribos con canales porcinas por semana de cada granja proveedora, teniendo un promedio de 220 canales por cada uno. La procedencia de las canales es de 6 diferentes sistemas de producción porcina, con orígenes en el Bajío, Sonora y Puebla, el proceso de sacrificio es diferente para cada una de ellas teniendo un promedio de dos días de haber sido sacrificadas al llegar y una temperatura entre 2 y 4°C.

5.2 Material

Equipo de ultrasonido de la marca ULTRAFOM 200
Báscula de monorriel con capacidad de 500 kg de la marca Braunke
Flexómetro
Báscula digital

5.3 Metodología

El proceso de evaluación constó de dos fases:

- En la primera se tomó una muestra de tamaño 265 canales, provenientes de 3 diferentes granjas, para la obtención de la ecuación de predicción.

- En la segunda se tomó otra muestra de tamaño 1000 canales, provenientes de 7 granjas diferentes, para la comprobación de la ecuación antes obtenida.

5.3.1 Obtención de medidas para la elaboración del modelo matemático

Para el primer grupo el proceso comenzó con la llegada de los cerdos al rastro, seguido por el proceso de faena que consistió en: insensibilización mediante una descarga eléctrica (300 v) inmediatamente fueron desangrados y se suspendieron por ambas piernas. Posteriormente las canales fueron escaldadas y se eliminaron las cerdas de pelo. La cabeza fue removida en la articulación del atlas y axis antes de retirar los órganos viscerales y la canal fue cortada a lo largo de la línea media en dirección dorso-caudal y posteriormente enfriada a una temperatura de 2°C por 24 horas. Al término del periodo de enfriamiento fueron trasladados hacia la planta procesadora en vehículos especializados para conservar la temperatura.

De cada animal se registró la identificación individual y granja de procedencia del animal, además se utilizaron las mediciones de cada una de las siguientes variables y fueron tomadas de acuerdo a la etapa de proceso correspondiente:

1. Peso del cerdo en pie (kg)
2. Peso de la canal caliente (kg)
3. Peso de la canal fría (kg), usando una báscula monorriel en el andén de recepción.
4. Longitud de la canal (cm), fue medida con una cinta metálica, desde el borde craneal de la primera costilla, adyacente a la columna, al borde craneal de la sínfisis púbica.

Usando el equipo de ultrasonido UltraFom 200 se tomaron las siguientes medidas:

5. Espesor de la grasa dorsal a la altura de la décima y última costilla (mm), a 5 cm de la línea media (Figura 5).
6. Profundidad del músculo gran dorsal a la altura de la última costilla (mm), a 5 cm de la línea media (Figura 5).

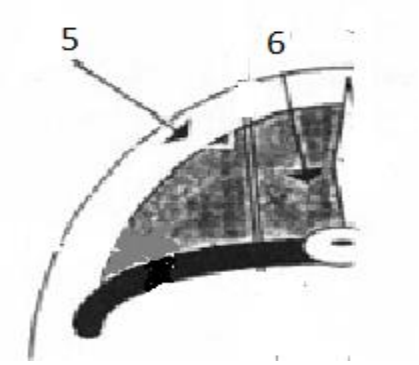

Figura 3. Corte transversal del área de la chuleta con piel.

Una vez obtenidos los cortes de la canal se tomaron los pesos en kilogramos, usando una báscula digital, de los siguientes cortes primarios en frio en el área de destace:

1. Jamón sin hueso 2. Espaldilla 3. Entrecot 4. Pecho 5. Cabeza de lomo 6. Filete

Otros componentes de la retacería también fueron pesados (cabeza, patas, unto, papada, cuero con grasa, cuero mixto, codillo, grasa, huesos, recorte 80/20, recorte cuero). A cada corte primario le fue removido el tejido magro, la grasa intramuscular, grasa subcutánea, piel y huesos.

5.3.2 Elaboración del modelo matemático para la predicción de rendimiento

Los datos son sometidos a un análisis de correlación múltiple, con el objeto de detectar las variables más asociadas con el rendimiento de cada uno de los cortes primarios, la suma de ellos y su porcentaje.

Para describir la relación entre las variables de interés se empleó el siguiente modelo:

$$y= \alpha+\beta x$$

Donde:

y=

α= ordenada al origen (intercepto), el valor de *y* cuando *x* vale 0. Es un estimado y proviene de un parámetro α.
β= pendiente, el ángulo de inclinación de la pendiente
x, y = son las variables a estudiar.

Posteriormente se lleva a cabo un análisis de regresión lineal utilizando como criterios de evaluación las mediciones que muestran correlaciones elevadas, para generar a partir de ellas una ecuación de predicción. La regresión múltiple es usada para identificar la mejor combinación de variables independientes y se empleó el siguiente modelo matemático:

$$Y= \beta o + \beta 1X + \varepsilon$$

Donde:
Y=
βo= el valor de la ordenada donde la línea de regresión se intersecta al eje Y.
$\beta 1$= el coeficiente de regresión poblacional (pendiente de la línea recta)
ε = el error

Para llevar a cabo los análisis se utilizó el programa R versión 3.3.1
Para descartar posibles variaciones importantes entre los rendimientos de los cortes primarios reales y los estimados, se realizó un análisis de varianza de un factor.

4.3.3 Comprobación del modelo propuesto

Hicks et al., (2014) baso la evaluación de la ecuación de regresión en las siguientes estadísticas: la exactitud de cada ecuación de predicción fue evaluada con R^2, coeficiente múltiple de determinación, la proporción de la suma de los cuadrados de Y (variable dependiente) atribuible a la información obtenida de las variables dependientes y la desviación estándar residual (RSD), las diferencias de la desviación estándar entra los valores actuales y los de predicción.

6. RESULTADOS

Los pesos obtenidos fueron en promedio para los animales vivos (PV) 103.6 kg, canal caliente (PCC) 88.252 kg, canal fría (PCF) 85.71 kg; el promedio de las medidas realizadas fueron para la grasa dorsal a la décima costilla (GD10a) 2.35 cm, grasa dorsal a la última costilla (GDU) 0.95 cm; la profundidad del músculo dorsal a la última costilla (PMDU) 4.82 cm.

Las principales mediciones de rendimiento de la canal fueron hechas sobre la canal fría y los rendimientos obtenidos correspondientes se muestran en la figura 4.

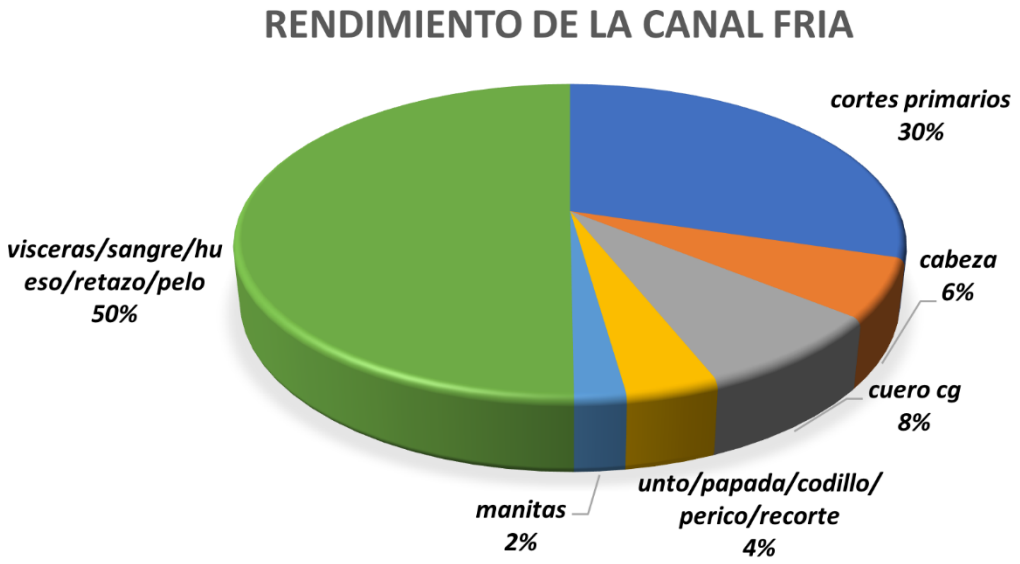

Figura 4. Rendimiento promedio de la canal fría. Los valores no cuantificados individualmente y los cuantificados en cantidades reducidas, fueron concentrados en el mismo conjunto de datos.

Los cortes primarios obtenidos de la canal fría se pesaron individualmente y los valores promedio de los distintos cortes fueron para el filete 1.57 kg; pierna sin hueso 16,34 kg; cabeza de lomo 6,31 kg; pecho 9.35 kg; entrecot 10.97; espaldilla sin hueso 6.55 kg, como se muestra en el cuadro 2, donde también se representan

el tamaño de muestra (n) y la desviación estándar (s). Los rendimientos en porcentaje del total de cortes primarios se muestran en la figura 5.

Variable	n	Promedio	S
Filete (kg)	258	1.57	0.24
PiernaSH (kg)	264	16.34	1.89
Clomo (kg)	264	6.31	0.91
EspaldillaSH (kg)	261	6.55	0.97
Pecho (kg)	264	9.35	1.24
Entrecot (kg)	264	10.97	1.28
Tot Cort	264	50.92	5.66
Cort. Estim	255	50.78	5.4

Cuadro 2. Valores promedio de los cortes primarios

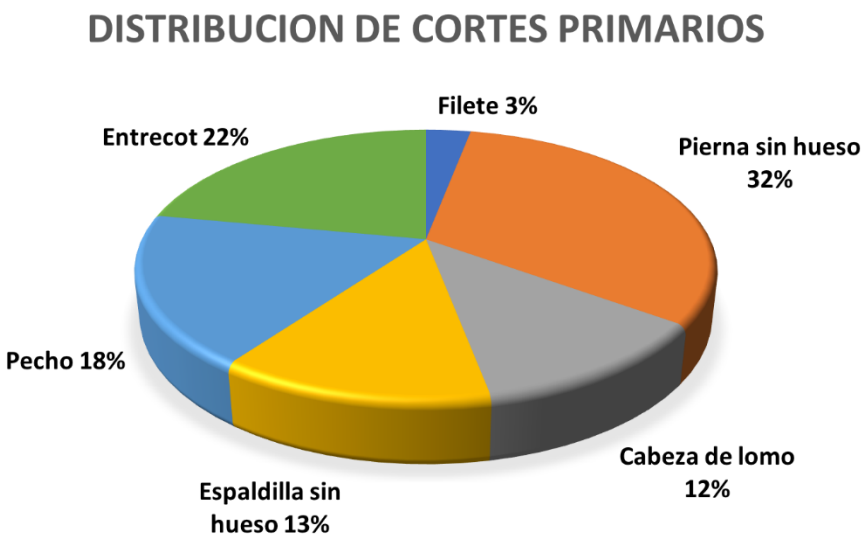

Figura 5. Proporción de los cortes primarios obtenidos del total de la canal fría

Las correlaciones existentes entre medidas de la canal y rendimiento de los cortes primarios obtenidos a través del análisis, se muestran en la figura 6:

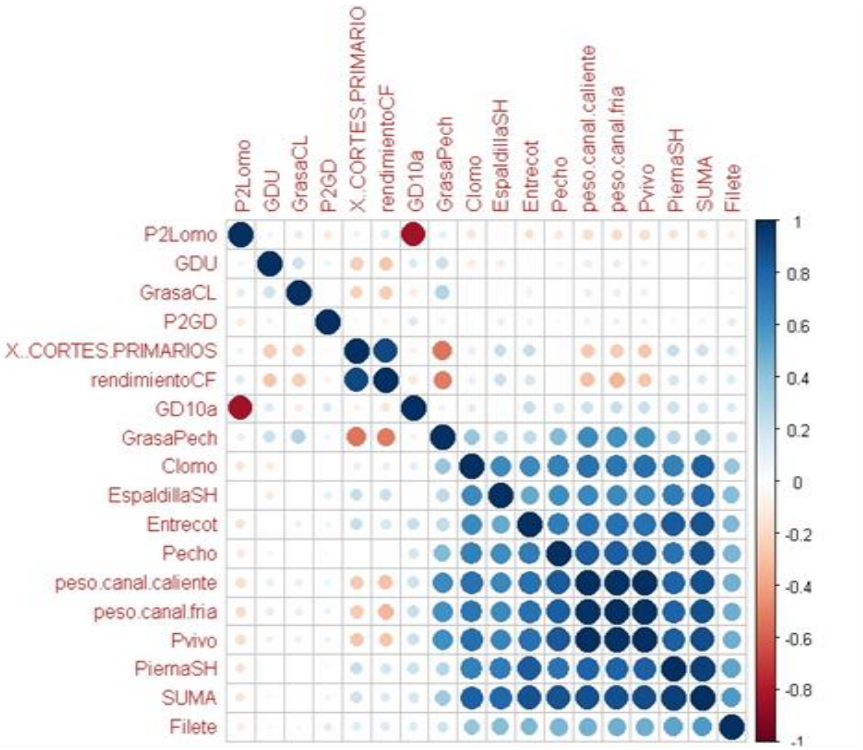

Figura 6. Correlaciones entre medidas de la canal y cortes primarios. El tamaño del punto representa la significancia. La intensidad de azul refleja la correlación cuando es positiva y la marrón cuando es negativa.

Los valores promedio de las variables más asociadas con el rendimiento de los cortes primarios se muestran en el siguiente cuadro (cuadro 3), donde además se muestran el tamaño de muestra (n) y la desviación estándar (s). Peso de la canal fría (PCF), grasa dorsal a la décima costilla (GD10a), grasa dorsal a la última costilla (GDU) y profundidad del músculo dorsal a la última costilla (PMDU).

Variable	n	Promedio	S
PCF (kg)	264	85.71	10.18
GD10a (cm)	264	2.35	0.61
GDU (cm)	264	0.95	0.15
PMDU (cm)	264	4.82	0.86

Cuadro 3. Valores promedio de las variables con mayor asociación al rendimiento de la canal porcina.

En el cuadro 4 se presentan las correlaciones más altas donde se observa que los coeficientes GD10a y P2Lomo se encontraron altamente significativos; el Peso CC y Peso CF medianamente significativos y la significancia menos importante la observó GDU. De éstas, se decidió tomar el peso de la canal fría, la grasa a la décima costilla (o vértebra) y la profundidad del músculo dorsal (P2Lomo) las dos últimas por la significancia y la anterior, además, por ser posible medirla en el obrador. El coeficiente de determinación ajustado fue de 0.8364 y p<0.0001.

	Estimado	Error estándar	Valor T	Pr(>|t|)
(Intercepto)	1.151784	0.906498	1.271	0.20503
Pvivo	0.004475	0.047987	0.093	0.92577
PesoCC	0.173366	0.05967	2.905	0.00399**
PesoCF	0.109941	0.039864	2.758	0.00623**
GD10a	-0.877398	0.145518	-6.029	5.69e-09 ***
GDU	-0.33434316	0.162928	-2.052	0.04119*
P2LOMO	1.396677	0.087408	15.979	< 2e-16 ***

Cuadro 4. Coeficientes de correlación: Significancia: 0´*´ 0.001´**´ 0.01´*´ 0.05 ´.´0.1´ ´1**

Una vez seleccionados los coeficientes para la ecuación, se llevó a cabo otra regresión múltiple considerando estos coeficientes, con lo que se obtuvieron los estimadores para la ecuación que es la siguiente:

1.55+0.71*PMDU+0.59*CF-2.02*GD10a

De manera individual se graficaron los coeficientes de regresión (Figura 7,8 y 9):

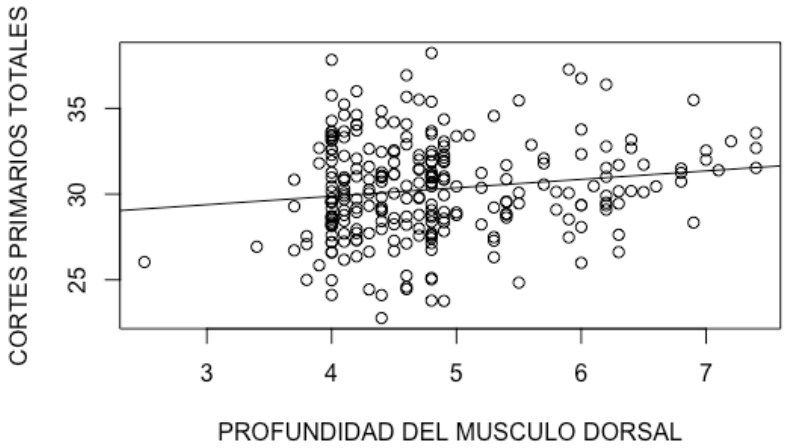

Figura 7. Coeficientes de regresión para profundidad del músculo dorsal

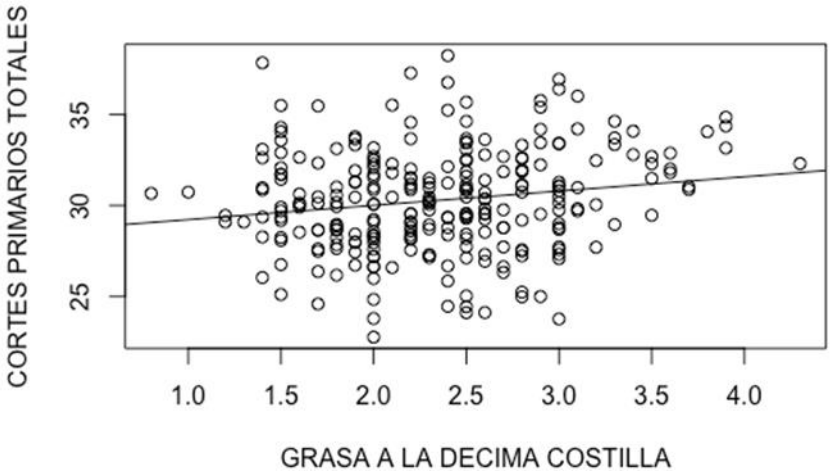

Figura 8. Coeficiente de regresión para la profundidad de la grasa a la altura de la 10ma costilla

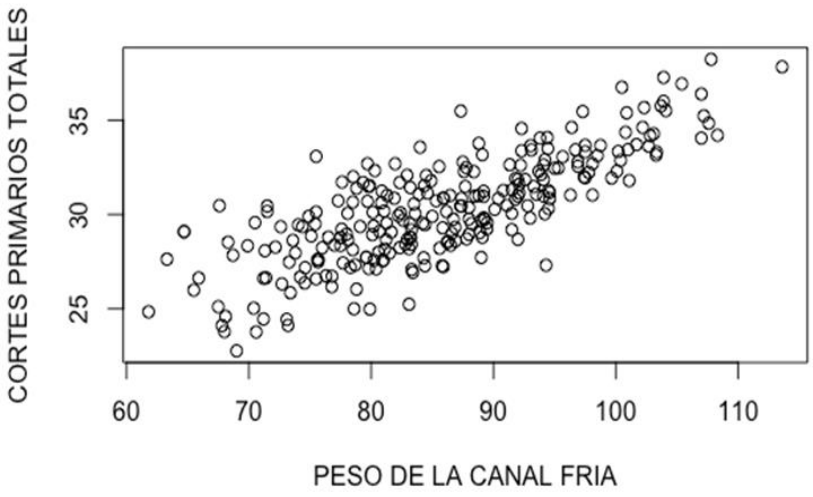

Figura 9. Coeficiente de regresión para la canal fría

Para descartar posibles variaciones importantes entre los rendimientos de los cortes primarios reales y los estimados, se realizó un análisis de varianza de un factor (Cuadro 5). Los resultados observados muestran que no existen diferencias significativas entre los valores estimados y los medidos.

F	*Probabilidad*	*Valor crítico para F*
0.037709896	0.846104459	3.859829059

Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza

7. DISCUSION

Es sabido que no es posible determinar la cantidad de carne y tejido graso en la canal y en sus cortes primarios basándose en el exterior. Existen diferencias entre subpoblaciones, respecto a la distribución de magreza, grasa y la cantidad de grasa intramuscular que no es posible diseccionar, las cuales son parcialmente responsables de los sesgos en la predicción para subpoblaciones, debido a esto ocurre una disminución del pago a productores de genotipos magros y sobrepago a productores de genotipos grasos (Hicks *et al*.,1998). Sin embargo, con el uso de ecuaciones de regresión, es posible determinar la cantidad de carne y tejido adiposo, sin una disección detallada, gracias a los métodos de evaluación modernos basados en el uso y aplicación de mecanismos electrónicos y computacionales.

Ayuso *et al*., (2013) presentaron los siguientes valores tomados con medición directa (regla) y ultrasonido para las distintas variables: grasa dorsal 10ª costilla (mm) 20.32 ± 0.62, grasa dorsal última costilla (mm) 27.61 ± 0.55, grasa dorsal última vértebra lumbar 19.19 ± 0.50 y área del lomo (cm^2) 41.73 ± 0.58, usando el dispositivo de ultrasonido: grasa dorsal 10ª costilla (mm) 18.79 ± 0.37 y área del lomo (cm^2) 39.77 ± 0.53. En sus resultados observan que las mismas diferencias que hay en las medidas tomadas en la canal, resultan similares para los valores obtenidos con ultrasonido. Johnson *et al*., (2004) obtuvieron los siguientes valores: peso pre sacrificio (kg) 126 ±13.9, peso de la canal caliente (kg) 93.5 ±11.3, profundidad grasa dorsal a la última costilla (mm) 29.7 ±7.4, profundidad de la grasa dorsal 10ª costilla (mm) 27.4 ±8.4, diámetro del lomo 10ª costilla (cm^2) 41.3 ±7.1, profundidad de la grasa dorsal medida con UltraFom (mm) 20.0 ±5.9, profundidad del músculo del lomo medida con UltraFom (mm) 48.5 ±7.3. En este mismo trabajo, obtuvieron los valores de las variables que se incluyeron en las ecuaciones con diferentes dispositivos, de las cuales las más exactas fueron las obtenidas a la altura de la 10ª costilla y las obtenidas con el equipo SCAN (animales vivos) debido a que presentaron menor variación en sus resultados. Sin embargo en todas las ecuaciones, la diferencia entre estos procedimientos fue relativamente mínima. Las

ecuaciones para FOM y AUS obtuvieron rendimientos similares, pero fueron menos precisas. La tecnología UFOM fue usada en pocas canales que también fueron evaluadas con otros procedimientos. Todos los procedimientos para la predicción del rendimiento mostraron sesgos. Muchas investigaciones también han encontrado que las medidas de obtenidas de ultrasonido de profundidad de grasa dorsal y área de músculo del lomo en animales vivos son menos precisas que las medidas en canales, pero la diferencia no es muy grande (Schinckel *et al.*, 2003; 2007; 2010).

Trabajos previos (Hicks *et al.,* 1998; Schinckel *et al.,* 2003) incluyeron diferentes combinaciones de variables independientes en las ecuaciones de regresión, usando las que comercialmente son más prácticas y fáciles de medir. Minimizando el número de variables para agregarlo en la detección de sesgos. Las ecuaciones de regresión involucran correlaciones positivas con ciertas mediciones (peso, valores tomados con escaneo de ultrasonido y área del lomo), lo cual sugiere un incremento lineal en los valores de la canal cuando estas variables aumenten (Hicks *et al*., 1998). Ayuso *et al*. (2013); Jhonson *et al*., (2004) y Schwab *et al*., (2014) sugieren que las medidas obtenidas del área de la 10ª costilla son mayormente correlacionadas con el rendimiento del peso de los cortes comerciales, que las correspondientes a las medidas de la ubicación de la última costilla. Las medidas obtenidas con ultrasonido o directamente, en la ubicación de la 10ª costilla puede no predecir peso del jamón, peso del brazuelo y peso del lomo con exactitud aceptable por sí solo, sin embargo, incluyendo las medidas de profundidad de grasa dorsal puede incrementar considerablemente la exactitud de la predicción; en general, las correlaciones de las medidas obtenidas directamente de la canal fueron ligeramente mayores a las correlaciones de las medidas obtenidas con ultrasonido cuando se compara pesos y se obtienen rendimientos de los cortes magros (Ayuso *et al*., 2013).

Ayuso *et al*. (2013) y Johnson *et al*., (2004) obtienen una correlación negativa del área del músculo del lomo con el porcentaje de grasa intramuscular de la canal y la grasa dorsal de la canal tiene una relación positiva con el porcentaje de grasa intramuscular de la canal, lo que sugiere que el porcentaje de grasa intramuscular puede depender más de la profundidad de la grasa dorsal del área del lomo, estas

correlaciones fueron incluidas en algunos de sus modelos propuestos. El análisis de las mediciones de la grasa dorsal muestra un patrón lineal de acumulativo de deposición de grasa dorsal entre los 73 y 118 kg; los cerdos modernos tienen mayor área del lomo y menor profundidad de grasa dorsal a la 10ª costilla (Schwab *et al*.,2014; Johnson *et al*., 2004). Sin embargo Kosovac *et al*., (2009) obtuvieron una correlación negativa entre la profundidad de la grasa dorsal y el rendimiento magro de la canal determinada mediante el método de los dos puntos, fuerte y estadísticamente significativa (-0.97 y -0.77) lo cual significa que el rendimiento de la canal disminuye con el incremento de la profundidad de la grasa dorsal y tejido adiposo, también determinaron que el mejor indicador del rendimiento de la canal es la profundidad del tejido adiposo. Mientras que el diámetro del músculo gran dorsal mostró una positiva y medianamente fuerte correlación (0.48) con el porcentaje calculado de contenido cárnico. Kosovac *et al*., (2009) encontraron correlación entre el peso vivo, peso de la canal fría y caliente con el rendimiento cárnico total evaluado usando el método de dos puntos y negativa, débil y estadísticamente no significativa con el dispositivo FOM, además de una correlación negativa entre el peso de media canal y el porcentaje de carne en media canal. Johnson *et al*., (2004) usaron modelos mixtos para desarrollar las ecuaciones de regresión. Las variables preliminares para el modelo de regresión incluyeron efectos lineales y cuadráticos de la profundidad de la grasa dorsal, músculo dorsal y peso de la canal caliente y el producto del cruzamiento de las variables lineales. Su modelo final fue desarrollado con eliminación en retroceso para remover del modelo de regresión las variables con coeficientes de regresión igual a 0 y sus probabilidades fueron mayores de 0.10. De las ecuaciones propuestas por Johnson *et al*., (2004) las más efectivas fueron las que incluyeron varias combinaciones de lineales, cuadráticas, cùbicas y combinaciones entre variables independientes. Además obtuvieron los valores de las variables que se incluyeron en las ecuaciones con diferentes dispositivos, de las cuales las más exactas fueron las obtenidas a la altura de la 10ª costilla y las obtenidas con el equipo SCAN (animales vivos) debido a que presentaron menor variación en sus resultados. Sin embargo en todas las ecuaciones, la diferencia entre estos procedimientos fue relativamente mínima. Las

ecuaciones para FOM y AUS obtuvieron rendimientos similares, pero fueron menos precisas. La tecnología UFOM fue usada en pocas canales que también fueron evaluadas con otros procedimientos. Todos los procedimientos para la predicción del rendimiento mostraron sesgos. Kosovac *et al*., (2007) encontraron una correlación ligeramente más alta entre el porcentaje de carne determinado por la disección parcial y por FOM (-0.54) además de que las ecuaciones de regresión muestran un mejor resultado en cerdos con un contenido cárnico de 55.52% y más, con un coeficiente de correlación alto, entre el relativo rendimiento cárnico en medias canales determinado por el método de disección y con el dispositivo FOM. Bahelka *et al*., (2005) obtuvieron que las correlaciones de los rendimientos obtenidos mediante disección y por el método de dos puntos, fueron estadísticamente significativos y negativos (r=-0.84 a -0.97). Hicks *et al*., (1998) basaron su modelo matemático en los valores de rendimiento magro diseccionado, porcentaje de lípidos químicos dentro de la disección de tejido adiposo agrupados por cada canal. El total del rendimiento magro de la canal fue estimado como la suma del rendimiento magro de cada uno de los principales cortes y otros tejidos magros y adiposos.

Hicks et al., (1998) encontraron que el peso de la canal caliente, el área del lomo de la canal, peso vivo y área del lomo medida con ultrasonido presentaron una alta correlación con el tejido magro libre de grasa (FFLM) (0.70, 0.74, 0.67 y 0.81); las correlaciones del FFLM con la profundidad del músculo y longitud de la canal fueron moderadas y positivas; el peso de la canal fue negativamente correlacionado con el valor de la canal por kilogramo. El efecto del genotipo, sexo y peso al sacrificio fueron significativos para todas las variables. Para determinar el valor de la canal fueron diseccionados y pesados individualmente los cortes primarios y otros sub-productos (Wi) (panceta, costillas, mandíbula, patas, espinazo, cola, recorte de tejido magro, grasa, piel y órganos). A cada corte y subproducto se le asignó una unidad de precio (Pi), ajustando el costo de transporte, sacrificio y empaque. La evaluación de la ecuación de regresión fue basada en las siguientes estadísticas: la exactitud de cada ecuación de predicción fue evaluada con R^2, coeficiente múltiple de determinación, la proporción de la suma de los cuadrados de Y (variable

dependiente) atribuible a la información obtenida de las variables dependientes y la desviación estándar residual (RSD), las diferencias de la desviación estándar entra los valores actuales y los de predicción.

Kosovac *et al*., (2009) confirman que la categorización de las canales porcinas dentro de las clases SEUROP, usando el método de dos puntos y el instrumento FOM para medias canales calientes, presentan gran variación lo cual indica la necesidad de desarrollar nuevas ecuaciones para la evaluación de canales porcinas. Establecida la ecuación de regresión resultó en mejores evaluaciones para los cerdos con un rendimiento de 55.52% y más, con un coeficiente de correlación (0.78) entre el rendimiento magro en medias canales determinado por el método de disección parcial y FOM. Además, este método permite la evaluación de la calidad de la canal sobre la línea de sacrificio, lo cual es necesario introducir para el progreso de la producción de cerdo. El número de observaciones difiere entre las variables ya que hubo datos perdidos y valores extremos que tuvieron que ser eliminados.

8. Conclusión

Establecida y aplicada la ecuación de regresión resultó en mejores evaluaciones para las canales porcinas además este método permite la evaluación de la calidad de la canal sobre la línea de sacrificio, con lo que puede ser sugerido como un método para clasificar las canales y además estimar el pago al productor por la calidad de las canales.

9. **BIBLIOGRAFIA**

- Allen P y Finnerty N (2000). Objective beef carcass classification, a report of a trial of three via classification systems. The national food centre, Teagasc and department of agriculture, food and rural development.
- Ayuso D, González A, Hernández F, Corral JM e Izquierdo M (2013). Prediction of carcass composition, ham and foreleg weights, and lean meat yields of Iberian pigs using ultrasound measurements in live animals. Journal of Animal Science 2013, 91:1884-1892.
- Bee G, Guex G y Herzog W (2004). Free-range rearing of pigs during the winter: Adaptations in muscle fiber characteristics and effects on adipose tissue composition and meat quality traits. Journal of Animal Science 2004, 82:1206-1218.
- Bobadilla SEA y Martínez CFE (2010) Comercialización de carne de porcino. VII Jornadas Internacionales en Producción Porcina, 26 al 27 de Marzo. FMVZ-UNAM.
- Busk H, Olsen EV y Brondum J (1999) Determination of lean meat in pig carcasses with the Autofom classification system. Meat Science Volume 52, Issue 3, July 1999, Pages 307–314
- Charley H (2012). Tecnología de los alimentos: Procesos químicos y físicos en la preparación de alimentos. Editorial Limusa: México.
- Cheftel JC, Cheftel H y Besancon Pierre (2000). Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos: Volumen II. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España.
- Cherel P, Herault F, Vincent A, Le Roy P y Damon M (2012). Genetic variability of transcript abundance in pig skeletal muscle at slaughter: Relationships with meat quality traits. Journal of Animal Science 2012, 90:699-708.

- Ciobanu CD, Steven M, Lonergan y Huff-Lonergan JE (2011). Capítulo 15 Genetics of Meat Quality and Carcass Traits en The Genetics of the Pig, 2nd Edn editores Rothschild MF y Ruvinsky A.
- Cisneros F, Ellis M, Miller KD, Novakofski J, Wilson ER y McKeith FK (1996). Comparison of transverse and longitudinal real-time ultrasound scans for prediction of lean cut yields and fat-free lean content in live pigs. Journal of Animal Science 1996, 74:2566-2576.
- Coma J y Piquer J (1999). Calidad de carne en porcino: efecto de la nutrición. XV Curso de Especialización. Avances en nutrición y alimentación animal FEDNA.
- Cortés Tinoco GP, Mora Flores JS, García Mata R y Ramírez Valverde G (2011) Estudio del consumo de la carne de cerdo en la zona metropolitana del Valle de México. Estudios Sociales, Volumen 20 Numero 40, paginas 335-351. México.
- Cuarón IJA (2001) Un método para seleccionar y vender mejor los cerdos. ENIFMA-INIFAP. México.
- Cunninnghan GJ y Klein GB (2007). Fisiologia Veterinaria. Editorial Elsevier, España.
- Edwards DB, Bates RO y Osburn WN (2003). Evaluation of Duroc- vs. Pietrain sired pigs for carcass and meat quality measures. Journal of Animal Science 2003, 81:1895-1899.
- Eguinoa P, Labairu J y Granada A (2006). Efecto de la genética paterna-Calidad de la canal porcina. ITG Ganadero- Revista Navarra Agraria, Edición Octubre-Noviembre 2006. Pp 180-188. Colombia.
- FAO (2005). Code of hygienic practice for meat CAC/RCP 58-2005.
- Forrest JC, Aberle DE, Hedrick BH, Judge DM y Merkel AR (1975) Principles of meat science. Editorial Acribia. Apartado 466. Zaragoza, España.
- Franco MM, Antunes RC, Borges M, Melo EO y Goulart LR (2008) Influence of breed, sex and growth hormone and halothane genotypes on carcass composition and meat quality traits in pigs. Journal of Muscle Foods 19 (2008) pages 34–49.Brazil.

- Furnols MF y Gispert M (2009) Comparison of different devices for predicting the lean meat percentage of pig carcasses. Meat Science 06/2009; 83(3):443-6. Monells, Spain.
- Gentry JG, McGlone JJ, Miller MF y Blanton, JR (2004). Environmental effects on pig performance, meat quality, and muscle characteristics. Journal of Animal Science 2004, 82:209-217.
- Gómez CC (2009). Difusión de información sobre las propiedades de la carne de cerdo blanco. Ministerio de Medioambiente Medio Rural y Marino, Madrid España.
- Gómez TG (2010). Aspectos económicos importantes a considerar después de que el cerdo sale de la granja. VII Jornadas Internacionales en Producción Porcina, 26 al 27 de Marzo. FMVZ-UNAM.
- Hicks C, Schinckel PA, Forrest CJ, Akridge TJ, Wagner RJ y Chen W (1998). Biases associated with genotype and sex in prediction of fat-free lean mass and carcass value in hogs. J ANIM SCI 1998, 76:2221-2234.
- Huff-Lonergan E, Baas TJ, Malek M, Dekkers JCM, Prusa K y Rothschild MF (2002). Correlations among selected pork quality traits. Journal of Animal Science 2002, 80:617-627.
- Hui HY, Nip WK, Rogers WR y Young AO (2001). Meat science an applications. Marcel Dekker, Inc. 270 Madison Avenue, New York, United States of America.
- Hui HY (2006). Ciencia y tecnología de carnes. Editorial Limusa, México.
- Jen K y Squires JE (2012). Efficacy of non-nutritive sorbent materials as intestinal-binding agents for the control of boar taint. Animal (2011), 5:11, pp 1814–1820 & The Animal Consortium 2011
- Jiang YZ, Zhu L, Tang GQ, Li MZ , Jiang AA, Cen WW, Xing SH, Chen JN, Wen AX, He T, Wang Q, Zhu GX, Xie M y Li XW (2012). Carcass and meat quality traits of four commercial pig crossbreeds in China. Genetics and Molecular Research. Published September 19, 2012

- Johnson RK, Berg EP, Goodwin R, Mabry JW, Miller RK, Robison OW, Sellers H y Tokach MD (2004). Evaluation of procedures to predict fat-free lean in swine carcasses. Journal of Animal Science 2004, 82:2428-2441.
- Jones SDM y Haworth CR (1983). Instrument Prediction of the Lean Content of Pork Carcasses Using Ultrasound or Light Reflectance. Journal of Animal Science 1983, 56:418-425.
- Kosovac O, Josipović S, Živković B, Radović C, Marinkov G y Tomašević D (2007). Comparable presentation of carcass and meat quality of different pig genotypes using modern evaluation methods. Biotechnology in Animal Husbandry 23 (5-6), p 291 – 301, 2007. Institute for Animal Husbandry, Belgrade-Zemun.
- Kosovac O, Živković B, Radović C y Smiljaković T (2009a). Quality indicators: carcas side and meat quality of pigs of different genotypes. Biotechnology in Animal Husbandry 25 (3-4), p 173-188, 2009 ISSN 1450-9156.
- Kosovac O, Živković B, Smiljaković T y Radović C (2009b). Correlation between certain parameters of pig carcass quality in unconventional housing systems. Biotechnology in Animal Husbandry 25 (1-2), p 35-44 , 2009 ISSN 1450.
- Latorre MA, Lázaro R, Valencia DG, Medel P y Mateos GG (2004). The effects of gender and slaughter weight on the growth performance, carcass traits meat quality characteristics of heavy pigs. Journal of Animal Science 2004, 82:526-533.
- Lawrie AR (1998). Meat Science, 6ª edición. Editorial Acribia S.A. Apartado 466 50080, Zaragoza, España.
- Lebret B, Meunier-Salaün MC, Foury A, Mormède P, Dransfield E y Dourmad JY (2006). Influence of rearing conditions on performance, behavioral, and physiological responses of pigs to preslaughter handling, carcass traits, and meat quality. Journal of Animal Science 2006, 84:2436-2447.
- Legarreta GI (1990). Tecnología de carnes: elaboración y preservación de productos cárnicos. Editorial Trillas:UAM, México.

- McClure EK, Scanga AJ, Belk KE y Smith CG (2003). Evaluation of the E+V video image analysis system as a predictor of pork carcass meat yield. J ANIM SCI 2003, 81:1193-1201.
- McClure EK, Scanga JA, Belk KE y Smith GS (2003). Evaluation of the E+V video image analysis system as a predictor of pork carcass meat yield. Journal of Animal Science 2003, 81:1193-1201.
- Ngapo TM, Dransfield E, Martin JF, Magnusson M, Bredahl y Nute GR (2003). Consumer perceptions: pork and pig production. Insights from France, England, Sweden and Denmark. Meat Science 66 (2003) 125–134. # 2003 Elsevier Ltd. All rights reserved.
- NMX-FF-081-SCFI-2003. Productos pecuarios- Carne de porcino en canal-Calidad de la carne. México. Secretaria de Economía, Estados Unidos Mexicanos.
- O´Rourke B, Rusell R y Buege D (2005). Pork carcass evaluation. UW Madison, Deparment of Animal Sciences.
- Paranhos da Costa MJR, Huertas MS, Gallo C y Dalla Costa AO (2012). Strategies to promote farm animal welfare in Latin America and their effects on carcass and meat quality traits. Meat Science 92 (2012) 221–226. © 2012 Elsevier Ltd. derechos reservados.
- Pazos A (2009). Bioquímica del músculo ¨Cambios post mortem. Procesos bioquímicos que ocurren durante la maduración de la carne. Influencia sobre la calidad final de producto¨. Curso Anual IPCVA –11 de Noviembre de 2009. Envases en la Industria de la Carne Vacuna: Fundamentos y Aplicaciones.
- Pulkrábek J, Pavlík J, Vališ L y Vítek M (2006). Pig carcass quality in relation to carcass lean meat proportion. Czech Journal Animal of Science., 51, 2006 (1): 18–23.
- Sánchez-Chiprés DR, Villagómez D y Galindo García J (2008). Comportamiento productivo de cerdos portadores del gen del halotano en condiciones medioambientales no controladas. REDVET Revista electrónica de Veterinaria, Vol. IX, Núm. 5, mayo, 2008, pp. 1-15 Veterinaria Organización España.

- Schinckel AP, Einstein ME, Foster K y Craig BA (2007). Evaluation of the impact of errors in the measurement of backfat depth on the prediction of fat-free lean mass. Journal of Animal Science 2007, 85:2031-2042.
- Schinckel AP, Herr CT, Richert BT, Forrest JC y Einstein ME (2003). Ractopamine treatment biases in the prediction of pork carcass composition. Journal of Animal Science 2003, 81:16-28.
- Schinckel AP, Wagner JR, Forrest JC y Einstein E (2010). Evaluation of the prediction of alternative measures of pork carcass composition by three optical probes. Journal of Animal Science 2010, 88:767-794.
- Schwab RC, Baas JT, Stalder JK y Mabry WJ (2014). Effect of long-term selection for increased leanness on meat and eating quality traits in Duroc swine. Journal of Animal Science 2006. 84:1577–1583
- Schwartzkopf-Genswein KS, Faucitano L, Dadgar S, Shand P, González LA y Crowe TG (2012). Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its impact on animal welfare, carcass and meat quality: A review. Meat Science 92 (2012) 227–243. © 2012 Elsevier Ltd. derechos reservados.
- Serrano MP, Valencia DG, Fuentetaja A, Lázaro R y Mateos GG (2008). Influence of feed restriction and sex on growth performance and carcass and meat quality of Iberian pigs reared indoors. Journal of Animal Science 2009, 87:1676-1685.
- Shackelford SD, King DA y Wheeler TL (2011). Development of a system for classification of pork loins for tenderness using visible and near-infrared reflectance spectroscopy. Journal of Animal Science 2011, 89:3803-3808.
- UMSNH – FMVZ (2012). Rastro y planta industrializadora de productos cárnicos. Manual de procedimientos. Tarimbaro, Michoacán 2012.
- Varnam HA y Sutherland JP (1995) Meat and meat products. Technology, chemistry and microbiology. Chapman and Hall, 2 – 6 Boundary Row, London SE1 8HN, UK.
- Velarde A y Dalmau A (2012). Animal welfare assessment at slaughter in Europe: Moving from inputs to outputs. Meat Science 92 (2012) 244–251.

- Velarde A y Dalmau A (2012). Animal welfare assessment at slaughter in Europe: Moving from inputs to outputs. Meat Science 92 (2012) 244–251. © 2012 Elsevier Ltd. derechos reservados.
- Velázquez MPA y Belmar CR (1998) Predicción del contenido de cortes primarios en canales porcinas. Folleto de investigación Centro de investigación regional del sureste, INIFAP. México.
- Velázquez MPA, Braña VD, Muñoz VDI, Cuarón IJA y Lanz GA (2005). Diferencias en las ecuaciones de predicción de rendimiento de cortes primarios de cerdos machos castrados y machos enteros vacunados contra la hormona liberadora de las hormonas gonadotropinas (GnRH), INIFAP. México.
- Warris PD (2003) Meat Science, an introductory text. CABI Publishing, Wallingford, Oxon OX10 8DE, UK.
- Woltmann MD, Clutter AC, Buchanan DS y Dolezal HG (1992). Growth and carcass characteristics of pigs selected for fast or slow gain in relation to feed intake and efficiency. Journal of Animal Science 1992, 70:1049-1059.