

Tecnologías para la evaluación objetiva de las canales de animales de abasto

Ma. Guadalupe López Palacios*
María Salud Rubio Lozano**

Abstract

The knowledge of the differences among animal carcasses has been of great economic significance for the meat industry. The most valuable carcasses are those that meet the highest quality standards (most wanted by the consumers) and highest yields. To evaluate quality and yield it is required to estimate and measure some characteristics on the carcass. These measures can be evaluated objectively or subjectively. Within the objective methodology, various instruments have had a great deal of acceptance. These instruments are used to measure one or more of the following attributes like: amount of fat, bone and/or muscle. This study checked some of the most significant technologies such as ultrasound, electrical conductivity and video image analysis. The main advantage found for these methods is the extend to minimize human subjectivity in the process of measuring. However, their great disadvantages are the lack of applicability and the routine use in the conditions of the slaughterhouse. It is important that these instruments enable the user to register exact, precise and repetitive measures. The development and application of these evaluation techniques must concentrate efforts to develop the methodology at the slaughter line speed, and to present the data in a way that does not require interpretation.

Key words: CARCASS EVALUATION, ULTRASOUND, VIA, HENNESSY, ToBEC, CAT.

Resumen

El conocimiento de las diferencias entre las canales de animales de abasto ha tenido un impacto económico tan grande que en muchas ocasiones ha marcado cambios importantes en el curso de la industria cárnica internacional. Las canales de mayor valor en el mercado son las de mayor rendimiento y las de mejor calidad (definida esta última como las características sensoriales preferidas por los consumidores). En muchos países del mundo, el valor económico de la canal se determina a través de una evaluación de las características de la canal que proporcionan información sobre el rendimiento y la calidad. La predicción de la calidad y el rendimiento se puede hacer de forma subjetiva (estimación por especialistas) u objetiva (con base en mediciones directas en las canales). Dentro de la metodología objetiva se han logrado grandes avances usando instrumentos destinados a estimar las características más significativas de la canal. La tecnología instrumental registra uno o más de los siguientes atributos: cantidad de grasa, cantidad de hueso y músculo. En este trabajo se revisan algunas de las tecnologías más estudiadas a nivel internacional, entre las que se encuentran el ultrasonido, la conductividad eléctrica y las imágenes en video. La ventaja principal de estos instrumentos es que ofrecen la posibilidad de obtener medidas de las canales sin la necesidad de interpretación subjetiva del hombre; sin embargo, la principal desventaja se centra en la

Recibido el 9 de abril de 1997 y aceptado el 27 de octubre de 1997.

* Departamento de Ingeniería y Tecnología, Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. 1 de Mayo s/n, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México.

** Departamento de Rumiantes, Centro de Enseñanza Práctica, Investigación y Extensión en Pequeños Rumiantes, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, San Miguel Topilejo 246, 14500, México, D.F.

dificultad en su manejo y aplicación. Por estas razones, es indispensable que los instrumentos de medición empleados tengan la capacidad de registrar medidas exactas, precisas y repetitivas de las características de la canal. La investigación de técnicas de evaluación de canales debe enfocarse al desarrollo de equipo de fácil manejo, que se pueda emplear en los rastros sin interrumpir la línea de sacrificio y que, además, proporcionen datos lo más exacto posibles de las canales que evalúan.

Palabras claves: EVALUACIÓN CANALES, ULTRASONIDO, VIA, HENNESSY, TOBEC, CAT.

Introducción

La obtención de carne de calidad es resultado de la producción de animales de calidad, así como de la interrelación de diversos factores asociados a la percepción del consumidor, al precio y al mercado.¹ El precio es considerado, a menudo, como una medición de la calidad; sin embargo, en la mayoría de los casos, éste refleja las fluctuaciones económicas de la oferta y la demanda, aunque de igual manera, la demanda depende en gran parte de la apreciación o aceptabilidad del producto por parte de los consumidores.² A pesar de la subjetividad del concepto de calidad, la industria de la carne requiere de instrumentos de medición de la calidad y el rendimiento de las canales para poder concretar en estimadores medibles lo que el consumidor aprecia al comprar el producto.³

Por otra parte, la evaluación de las canales es una herramienta que la industria de la carne tiene para verificar la eficiencia de la producción ganadera de un país, pues el estudio de la cantidad de carne que se obtiene de una canal y la calidad de ésta dan la información necesaria para detectar los tipos de producción que son más eficientes y sobresalientes.

En general, la evaluación de canales facilita un lenguaje común entre mercados y provee un instrumento para expresar y comparar precios; por lo tanto, mejora la comercialización de la carne, pues hace eficiente la relación existente entre un buen productor y un consumidor exigente.⁴ La evaluación de las canales puede realizarse objetiva o subjetivamente.⁵ Hasta el momento, la mayor parte de las evaluaciones realizadas han consistido en la estimación de las características de las canales con una interpretación por parte del hombre (evaluación subjetiva). Sin embargo, las mediciones son más exactas que las estimaciones, ya que aquéllas reducen la posibilidad de depender de una característica o grado existente.^{2,6} En la mayoría de los casos, se ha logrado mayor precisión mediante una medición (evaluación objetiva) con el uso de un instrumento en el que se reduce notablemente el error de paralaje (diferencia de la posición aparente de observación de un punto) causado por la persona que realiza la evaluación.⁷ Por lo tanto, la exactitud de una medición y una estimación deben ser aprovechadas como referencia para elaborar un estándar. De aquí que una importante característica de un sistema de evaluación es que éste pueda ser repetitivo.⁸ Con base

en lo anterior, es necesario instalar sistemas automáticos para tener la capacidad de registrar una medida exacta, precisa y repetitiva que ayude a establecer una metodología eficaz en la evaluación de canales.

Para asegurar que la evaluación de una canal se obtenga de forma objetiva y reproducible, es necesario usar una tecnología que presente los siguientes criterios:⁹

- Los datos obtenidos de los instrumentos deben ser confiables bajo diferentes condiciones.
- El equipo empleado debe ser fácilmente calibrado, operado y validado.
- La forma de operación debe ser rápida, sobre todo en las líneas de procesado en planta.

No hay que olvidar un aspecto muy importante, la metodología no debe provocar alteraciones físicas o microbiológicas en los tejidos de la canal.

La tecnología instrumental para evaluación de canales toma mediciones de una o más de las siguientes características: cantidad de músculo, grasa o hueso, ya sea en canales enteras, medias canales o en piezas anatómicas;¹⁰ en este contexto, en muchas ocasiones hay que usar una combinación de varias técnicas para asegurar la evaluación completa de la canal.

El objetivo último del uso de las nuevas tecnologías es incluir los datos obtenidos de las mediciones a una ecuación de regresión para predecir tanto el rendimiento como la calidad de la canal. Hoy día son muchos los instrumentos que se usan, al menos de forma experimental, para evaluar canales en los rastros de diferentes países. Sin embargo, en México estas tecnologías aún no han llegado a la mayoría de los rastros del país, entre otras razones por la falta de conocimiento de los instrumentos en sí, de sus ventajas o de su funcionamiento. Por lo tanto, el presente trabajo propone desglosar los avances que hasta el momento se tienen con respecto a la evaluación de canales a través de instrumentos, así como las ventajas y desventajas en su uso.

Antecedentes

La evaluación de canales comenzó a principios de siglo en varios países del mundo, como Nueva Zelanda, Rusia, Sudáfrica, Estados Unidos de América y Australia, en algunos otros surgieron, incluso, propuestas de evaluaciones a finales del siglo pasado. La mayor parte de las evaluaciones de canales que se realizan en el mundo

esquematizan los grados de calidad y rendimiento mediante una combinación de parámetros asociados a la canal.¹¹

En la mayoría de los sistemas de evaluación, la predicción del rendimiento está en función del peso de la canal, y de uno o varios de los siguientes criterios: espesor y distribución de la grasa subcutánea, área de la chuleta, conformación y desarrollo muscular.¹² En Estados Unidos de América, la evaluación de canales se consolidó en 1927 considerando la calidad y el rendimiento; sin embargo, su aplicación ha sido primordialmente subjetiva.¹³ El mayor inconveniente en el tipo de evaluación que hasta ahora más se utiliza es el error o variabilidad que conlleva una calificación realizada por sujetos (subjetiva). Esta variabilidad ha sido ampliamente estudiada. En un estudio realizado en 1980 en la Unión Americana, en el que se investigó la eficacia de los evaluadores de canales, se encontró que el error medio de éstos al predecir la calidad de las canales era de 7.3% y de 11.6% al predecir el rendimiento.¹⁴ Con estos resultados se demostró la necesidad de encontrar un método objetivo que eliminara esa variabilidad cuya trascendencia económica era de gran importancia.

Con el fin de aumentar la exactitud en la evaluación de canales, incrementar la velocidad y la eficiencia de los métodos de evaluación, y proveer una metodología objetiva para diseminar la información, en 1978, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América (USDA) y la Agencia Espacial (NASA) iniciaron un proyecto para determinar si con la tecnología usada por la NASA (ultrasonidos y análisis de imágenes de video) se lograrían estos objetivos.¹⁵

Otras tecnologías comenzaron a ser probadas para el estudio de las canales. Por ejemplo, en 1980 se investigó la metodología del análisis de imágenes de video (VIA) en la Universidad de Kansas State; los resultados indicaron que este método era más efectivo en la evaluación del rendimiento de cortes primarios que en la evaluación de la calidad de los mismos. Sin embargo, en la utilización del VIA es necesario retirar la piel y enfriar la canal, esta situación originó un retroceso en el desarrollo de la metodología de imágenes de video, pues los representantes de la industria cárnica habían manifestado su deseo de encontrar una técnica que midiera rendimiento y calidad previo a la matanza, antes de quitar la piel o de enfriar la canal.¹³

Durante 1984 se probaron cinco diferentes métodos instrumentales para la evaluación de canales: resonancia nuclear magnética (NMR), tomografía axial computarizada (CAT), reflexión de infrarrojo cercano, ultrasonido de tiempo real y el análisis de imágenes de video (VIA).

Haciendo un balance de los resultados obtenidos hasta el momento de todas las técnicas y sus futuras aplicaciones, el USDA decidió apoyar fundamentalmente a la tecnología de ultrasonido basándose en los resultados hasta entonces obtenidos. En el "Simposium sobre Medidas Automáticas en Bovinos" celebrado en Austra-

lia en 1989, se identificó al ultrasonido como la tecnología con más potencial para la evaluación de canales.

Sin embargo, se requería mayor exactitud y precisión de las mediciones, por lo cual se desarrollaron nuevos estudios. Las nuevas investigaciones comenzaron en las universidades de Texas A&M y Cornell. Resultados de la Universidad de Texas A&M destacaron la mayor eficacia del ultrasonido, comparado con los evaluadores, para predecir el rendimiento de las canales. Los resultados de la Universidad de Cornell indicaron que la correlación entre el marmoleo medido en el ultrasonido (atenuación) y aquel medido por evaluadores en la canal, era muy baja ($r = 0.62$). Con estos datos, muchos investigadores señalaron como el problema principal del ultrasonido, la interpretación subjetiva que el operador hace de las lecturas obtenidas de la máquina,^{16,17} con lo cual la eficacia de la técnica disminuye sustancialmente.

A pesar del apoyo que la investigación en la metodología de ultrasonido recibió, otras tendencias en tecnología aparecieron casi al mismo tiempo, algunas de ellas en combinación con éste, para garantizar un mejor resultado. Jones¹⁸ señaló que para una buena predicción del contenido de músculo magro de la canal, era apropiada una combinación del ultrasonido y VIA. Jensen⁶ expuso que la aplicación del VIA en combinación con mediciones de grasa de cobertura y músculo eran las técnicas más exitosas en la clasificación de animales en Dinamarca. Standal¹⁹ indicó que el uso del CAT podía predecir la composición de la canal con casi la misma exactitud que el método de disección.

En otros muchos países como Australia, Dinamarca, Japón y Reino Unido, se han desarrollado tecnologías relacionadas con el ultrasonido para evaluar la calidad de la carne de la canal, determinar el rendimiento en animales vivos, o incluso predecir el porcentaje de grasa y el área del largo dorsal en animales antes del sacrificio.^{20,21,22}

En estos momentos, innumerables tecnologías para la evaluación de la calidad y el rendimiento de las canales están en constante desarrollo, y aunque teórica y técnicamente son muy prometedores, todavía hay muchos problemas por superar para conseguir los dos límites que la industria señaló como necesarios para las nuevas tecnologías: a) tener la habilidad de evaluar canales en caliente, sin cortar, antes de quitar la piel y de manera que no rompa tejido; b) ser capaz de evaluar calidad y rendimiento al mismo tiempo,²³ además de que su aplicación comercial sea fácil y rápida.²⁴

Tecnología e instrumentos de medición

Ultrasonido

El principio de la técnica de ultrasonido es la transmisión (pulso) de ondas sonoras de alta frecuencia que son propagadas a través del tejido biológico, las cuales

proveen (eco) información sobre la composición y estructura del tejido. Cross y Whittaker²³ señalaron que el método objetivo de evaluación de canales con ultrasonido tiene un uso muy ventajoso en la línea de sacrificio (de preferencia antes de que la piel sea removida). Una de sus grandes ventajas es que puede aplicarse en animales vivos y en canales; además, las mediciones son exactas y permiten predecir la textura final de la carne.²⁵

El equipo utilizado se compone principalmente de un transductor (sonda que se pone en contacto con el producto a evaluar) y una computadora que contiene un microprocesador, el cual ejecuta un programa, registra y analiza la información que se obtiene del tejido, y ofrece una imagen del tejido (sonograma) en pantalla. Las frecuencias más comunes para operar con ultrasonido son de 1 MHz (que permite obtener mayor profundidad en la imagen) y 5 MHz (que permite tener mayor resolución, aunque no tanta profundidad). Se sabe que la exactitud de la velocidad de medición del tejido biológico es de $\pm 5\%$.²⁶ Varias de las propiedades que pueden ser examinadas con ultrasonido se resumen en el Cuadro 1.

Cuadro 1 PROPIEDADES DE LA CARNE QUE PUEDEN SER EXAMINADAS CON ULTRASONIDO	
<i>Método de evaluación</i>	<i>Tipo de propiedad a evaluar</i>
Velocidad de ultrasonido	Composición de la carne (músculo, grasa, hueso y agua) observándose principalmente densidad y rigidez de la muestra
Atenuación de las ondas de ultrasonido	Estructura microscópica de la carne (marmoleo, disposición de fibras musculares)
Reflexión de las ondas de ultrasonido	Estructura macroscópica de la carne, talla y conformación del objeto de estudio

Las técnicas que emplea el ultrasonido para determinar las mediciones en la evaluación de canales se pueden clasificar en dos tipos: aquellas que presentan una relación numérica del ultrasonido con la muestra y aquellas que forman imágenes relacionadas con las características de la muestra (estructura y composición). Las primeras son la velocidad, atenuación y reflexión de las ondas de ultrasonido, las cuales sólo muestran un valor numérico que es interpretado como el valor que corresponde a las características de un componente o una interfase entre componentes de una canal. El otro tipo de ultrasonido se encarga de formar imágenes relacionando algunas de las técnicas numéricas de ultrasonido como el pulso-eco, la técnica A-mode, la técnica B-mode, el tiempo real o la elastografía.

Técnicas numéricas

VELOCIDAD DE ULTRASONIDO

La velocidad del ultrasonido puede predecir la composición del animal en vivo y en canal, y puede ser usada como una fuente de información para la evaluación de la calidad. Hay una diferencia en la velocidad a la cual viaja una onda de sonido a través de la grasa y a través del músculo. Por lo tanto, la velocidad de ultrasonido depende de la relación grasa/músculo y del contenido de agua de la muestra.²⁶ Mediante la medición del tiempo que la onda toma en atravesar la muestra (distancia conocida), se puede hacer una estimación del porcentaje de grasa y músculo. Los rangos de velocidad de las ondas de ultrasonido para diferentes materiales se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2
RANGOS DE VELOCIDAD DE LAS ONDAS DE ULTRASONIDO DE LOS COMPONENTES PRINCIPALES DE LA CANAL*

<i>Tipo de muestra</i>	<i>Velocidad de las ondas de ultrasonido (m/s)</i>
Músculo	1540 - 1640
Grasa	1450 - 1460
Agua	1480
Hueso	4100

* Adaptado de Whittaker.³⁸

Algunos estudios señalan la gran precisión de esta técnica para predecir la grasa y el magro de la canal.^{27,28} Por ejemplo, Wood²⁹ menciona que los resultados de la medición de grasa y músculo eran más exactos mediante la velocidad del ultrasonido que con la sonda de grado Hennessy. Sin embargo, otras investigaciones han hecho uso de la velocidad del ultrasonido para predecir la composición de canales de bovino tanto en animales vivos como directamente en la canal con resultados no demasiado prometedores.³⁰ Por otra parte, Parket *al.*³¹ utilizaron la velocidad del sonido para predecir la grasa intramuscular del largo dorsal de bovinos y obtuvieron una predicción con el 90% de exactitud para muestras con más de 8% de grasa intramuscular y con 76% de exactitud para muestras con menos de 8% de grasa intramuscular.

Dependiendo de la velocidad de las ondas de ultrasonido resultantes al medir una pieza de carne, es posible detectar la cantidad de músculo y grasa presentes. Esta técnica es sensible a la concentración de grasa en el tejido. Las ventajas son que es repetible, no perfora el tejido y puede dar una estimación de la grasa intramuscular, intermuscular y subcutánea. Las desventajas

son que las medidas son extremadamente sensibles a las distancias entre el transmisor y el receptor, y sólo pueden usarse para determinar el porcentaje de grasa/magro, a *grosso modo*, además se requiere de personal entrenado para su manejo.

ATENUACIÓN DE LAS ONDAS DE SONIDO

La atenuación es el descenso en la fuerza de la onda de ultrasonido cuando pasa a través del tejido; para obtenerla, se coloca la muestra entre un transmisor y un receptor, y se mide la frecuencia transmitida. Los valores de atenuación de las ondas de ultrasonido para diferentes muestras se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3
VALORES DE LA ATENUACIÓN DE LAS ONDAS DE ULTRASONIDO DE VARIOS MATERIALES

Tipo de muestra	Atenuación (dB/cm Mhz)
Agua	0.002
Grasa	0.660
Tejido suave	0.900
Músculo	2.000
Aire	12.000
Hueso	20.000

El valor de la atenuación para el tejido muscular es considerablemente mayor que la de los otros componentes que se tienen presentes en un corte de carne, debido principalmente a la interacción de la actina y miosina a nivel miofibrilar.²⁶ Generalmente, se puede conocer la composición del producto, conociendo la atenuación de cada uno de los componentes que se encuentran ya sea en la canal o en una muestra de carne.

REFLEXIÓN DE LAS ONDAS DE ULTRASONIDO

La reflexión de las ondas de ultrasonido ocurre en las interfases o espacio entre dos materiales de diferente impedancia; por ejemplo, entre grasa/músculo. La impedancia es una característica del material relacionada con la densidad y a la elasticidad de éste. La reflexión produce una reducción de la amplitud de las ondas del ultrasonido; dependiendo del tipo de interfase, la amplitud de onda se reduce más o menos (Cuadro 4). Conociendo las pérdidas que la amplitud de las ondas de ultrasonido tienen en las diferentes interfases de la canal o muestra de carne, se pueden determinar los componentes de la canal. Esta técnica también se emplea para la formación de imágenes; en tal caso, los pulsos reflejados o imitados son detectados por el transductor cuando se convierten en pulsos eléctricos, y estos últimos a su vez son amplificados y proyectados en el formato de una imagen apropiada.

Cuadro 4
PÉRDIDA DE AMPLITUD DE ONDA PRODUCIDA POR LA REFLEXIÓN EN LAS DIFERENTES INTERFASES ENTRE TEJIDOS*

Interfase	Pérdida de amplitud de la onda
Tejido - aire	-0.01
Hueso - tejido	-3.80
Grasa - músculo	-20.00
Reflector ideal	0.0

* Adaptado de Lake⁵⁸

Técnicas de formación de imágenes

TÉCNICA DE ULTRASONIDO PULSO-ECO

La tecnología del ultrasonido pulso-eco fue desarrollada inicialmente para el diagnóstico médico, pero se ha aplicado en la evaluación de canales desde 1950.¹⁶ Se trata de ondas de sonido de alta frecuencia que son propagadas a través del tejido; en una imagen (ecograma) se proyectan la refracción y la reflexión de cada una de las intersecciones entre sustancias de distinta densidad acústica. El método provee información de la forma, el tamaño y la posición de las estructuras de los tejidos blandos y su relación con cada uno. La caracterización cualitativa del tejido se hace mediante la interpretación de la escala gris de los ecogramas.

Este método ha sido usado para determinar ciertos parámetros de evaluación de las canales de cerdos; por ejemplo, el espesor de grasa subcutánea^{32,33} y en canales de bovinos.^{34,35,36} Numerosos estudios han determinado que a pesar de la gran complejidad y el alto costo de esta técnica, la exactitud no se mejoraba con respecto a otras tecnologías más simples y menos costosas.

TÉCNICA A-MODE

La técnica *A-mode* muestra la amplitud de onda y la representa en una simple dimensión. Esta técnica se utiliza cuando las ondas generadoras de imágenes que regresan al transductor son interceptadas y convertidas en ondas o pulsos eléctricos, entonces al pasar por un amplificador, el pulso incrementa su amplitud y se obtiene el llamado pulso *A-mode*. Los pulsos *A-mode* son producidos visualmente en una pantalla en forma de osciloscopio, donde la amplitud del pulso está representada por la altura de las ondas en la pantalla. La fuerza o magnitud de una onda *A-mode* está en función de la localización de la muestra y la reflexión en las diferentes interfases del tejido analizado.

La técnica *A-mode* inicialmente se utilizó en la predicción de la composición y la degustación. Sin embargo, también se emplea para conocer la relación entre

estructuras que componen el tejido (grasa, músculo y hueso), tomando como base las longitudes que alcanza la amplitud de la onda en las interfases del tejido. Con respecto a la composición, McLaren *et al.*³⁷ realizaron un estudio en el cual se encontró que usando la máquina de *A-mode* se subestimaban las medidas de grasa de cobertura. Con respecto a la degustación, en un estudio realizado por Whittaker *et al.*³⁸ se encontró que la velocidad longitudinal (velocidad a la cual una onda de ultrasonido viaja desde el origen) está altamente correlacionada con el contenido en humedad y grasa del tejido.

Una gran desventaja que presenta esta técnica es que la amplitud de la onda *A-mode* no sólo depende de la longitud de reflexión, sino también de la cantidad de atenuación; por lo que a fin de representar la amplitud de las ondas de ultrasonido a través del tejido en estudio, es necesario eliminar el efecto de atenuación en el tamaño de la onda.

TÉCNICA B-MODE

El *B-mode* es una técnica que trabaja con la luminosidad de la imagen. En el *B-mode*, la amplitud de las ondas de ultrasonido forma puntos de diferente luminosidad o brillantez en una pantalla. Estas señales ultrasónicas son digitalizadas, mostradas y almacenadas como una imagen. El procesamiento de los datos resulta en una imagen compuesta de elementos individuales (píxeles) con diferentes niveles de color gris.

La evaluación de los datos proporcionados por los píxeles puede predecir la composición del tejido. Según McLaren *et al.*³⁷ existen correlaciones elevadas entre la medida ultrasónica de la grasa de cobertura, identificada mediante el *B-mode*, y las medidas reales en la canal.

TIEMPO REAL

El método de tiempo real emplea señales ultrasónicas digitalizadas que permiten obtener la imagen del tejido. La mayor parte de los estudios realizados con esta técnica se enfocan a observar el tejido en vivo. Ferguson³⁹ indicó que las ventajas de uso del tiempo real del ultrasonido se dan con canales sin piel. Hamlin *et al.*⁴⁰ emplearon la técnica de tiempo real del ultrasonido para medir el espesor de grasa y el área del largo dorsal. Los resultados indicaron que las ecuaciones de predicción se deberían desarrollar por separado en función de la raza o los tipos biológicos.⁴⁰ Por otra parte, se observó que los predictores ultrasónicos explicaban alrededor de 10% menos de la variación en el porcentaje de carne vendible que las mediciones directas en la canal.⁴¹

ELASTOGRAFÍA

Es un nuevo método de ultrasonido usado para observar las propiedades elásticas de los tejidos.⁴² El método está basado en una compresión externa del tejido (1%), con la subsecuente computación del perfil de desplazamiento (*strain*) a lo largo del cuerpo del

transductor. Este tipo de medición puede ser correlacionada con la terneza, pues dependiendo de la composición de la muestra (por ejemplo, mas o menos colágeno), la elasticidad cambia.⁴³ El perfil de desplazamiento puede convertirse en perfil de elasticidad del tejido. Este método tiene las siguientes ventajas: es automatizado, rápido y no penetra ni destruye tejido. Sin embargo, aún está en desarrollo, es caro y difícil de manejar.

Ventajas de uso del ultrasonido

Las técnicas de ultrasonido muestran grandes ventajas como métodos objetivos disponibles en la actualidad. Una ventaja del ultrasonido es que puede ser aplicado en animales vivos e incluso a canales.^{26,39} Es también la tecnología más avanzada en la predicción de la textura de la carne desde los animales en vivo.

En resumen, la técnica del ultrasonido ofrece ciertas ventajas porque puede ser usada en animales vivos o en rastros antes de remover la piel del animal, puede predecir con exactitud las características relacionadas con la calidad sensorial y el rendimiento, no presenta riesgos de salud, puede ofrecer información sobre el grado y la clasificación de las canales y evitar así los errores humanos; además, ofrece gran compatibilidad al ser integrada con la tecnología neuroartificial.¹⁵ Por último, es un instrumento de relativo bajo costo.

Desventajas del uso del ultrasonido

La técnica de ultrasonido tiene limitaciones debido a que su uso depende de la exactitud de las relaciones que existen entre las pequeñas secciones del cuerpo del animal y en la composición de la canal; por ejemplo, la inexactitud en mediciones de grasa se debe a que la grasa no es muy densa,⁸ esto se presenta cuando la grasa de cobertura de los animales es de poco grosor. Otra desventaja es que el personal dedicado al manejo del equipo debe ser capacitado para un adecuado uso y una buena interpretación de los datos obtenidos.

Análisis de la imagen de video (VIA)

Este sistema consiste en la toma de una fotografía de alta resolución de la canal o de una sección de ésta, con una cámara digitalizada que contiene un microprocesador programado para interpretar la fotografía. Actualmente la tecnología del VIA se encuentra en una etapa de comercialización muy importante, debido a que puede ser utilizada en las líneas de procesamiento.^{29,44}

Eldridge⁴⁵ indicó que algunos de los requerimientos para poder usar este método son, en primer lugar, que las imágenes obtenidas para procesamiento puedan ser interpretadas en el contexto de los atributos en cuestión, y que idealmente el proceso sea automático. Como punto dos, se requieren objetivos que puedan ser presentados

bajo condiciones estándar, particularmente si tienen que ser interpretados automáticamente.

El equipo instrumental del VIA cuenta con una cámara de video que permite hacer la grabación de la imagen; una pantalla en el que se proyecta la imagen del tejido captada por la cámara; y una computadora que registra y analiza los datos obtenidos en la evaluación.⁴⁴ La velocidad de muestreo o el tiempo que tarda la computadora en registrar los datos pertinentes para el análisis es de diez a catorce segundos;¹⁶ la velocidad de respuesta o el tiempo que tarda la computadora en mostrar el análisis de datos es de tres segundos.⁴⁶ Crosset *et al.*⁴⁷ demostraron que el VIA tiene gran potencial para predecir el rendimiento de las canales. Los resultados obtenidos con el VIA mostraron un coeficiente de determinación del 93.6%, mientras que con el método tradicional el coeficiente de determinación fue de 84.2%.⁴⁷

El procedimiento empleado para el uso de este instrumento comienza cuando el operador de la cámara introduce una punta de metal en la canal para conocer la distancia y el ángulo relativo de la superficie del corte. Cuando el operador toma la imagen, la superficie entera del corte —por ejemplo, en la 12a costilla— es iluminada por una luz fluorescente. La imagen es digitalizada y transmitida a la computadora. Los datos que se obtienen del análisis son: área de la superficie total de la 12a costilla, área y porcentaje de grasa, área y porcentaje de músculo, número de partículas de grasa entre las fibras musculares (marmoleo), espesor de la grasa de cobertura, color del tejido muscular y el grado de rendimiento.¹⁶

Recientes investigaciones se inclinan en la utilización del VIA para la evaluación de color de la carne, el cual es un indicativo importante de la calidad de la carne de cerdo.⁴⁸ además de que el sistema se calibra solo y puede funcionar de manera estable en el ambiente del rastro con mínima atención por parte del personal.⁴⁸ Para la predicción del rendimiento de canales de bovino con poca grasa, el VIA resultó más preciso que la combinación del peso de la canal y el espesor de grasa.⁴⁹

Ventajas del uso del VIA

Con el uso del VIA se evita la contaminación, ya que no hay contacto directo del hombre con la canal. Por otra parte, este método es extremadamente rápido, puesto que todos los datos de las canales son capturados en 0.02 segundos después de haber puesto la canal enfrente de la cámara, y son procesados en un margen de tres segundos. El VIA es un método confiable, pues además de proporcionar mediciones útiles para la evaluación de canales, se puede utilizar en líneas de procesamiento.

Desventajas del uso del VIA

El mayor problema es que el movimiento de la canal en el momento de capturar la imagen debe ser minimizado para evitar borrones que puedan degradar la

claridad de la misma en un punto donde la medición es difícil o imposible. Por consiguiente, la aplicación de este método no es probable bajo condiciones comerciales, porque minimizando el movimiento de la canal en la línea implica un gran retraso en el proceso. Además sólo se utiliza en canales, y en ocasiones, éstas pueden ser dañadas por el operador si no se coloca adecuadamente la punta de metal al realizar el corte en la canal para la evaluación, por lo que el operador debe ser capacitado para obtener una correcta evaluación de las canales.¹⁶

Sonda de grado Hennessy (HGP)

El uso de tecnología como la sonda de grado Hennessy provee la oportunidad de incluir una medición más a una ecuación de predicción de rendimiento. Sin embargo, Hopkins⁵⁰ mencionó que es esencial que el operador de la HGP sea entrenado y reconocido, y que conozca los errores obvios debidos al manejo del equipo.

El equipo cuenta con una computadora para registrar y analizar los datos de la evaluación de tejido; el registro de datos se realiza con una sonda de 46 cm de largo, 7.5 cm de diámetro, con una sola escala de medición de 14 cm y una exactitud de medición de ± 0.2 mm.

Este instrumento mide el tejido depositado, basándose en las diferencias de reflexión de la luz entre el músculo y la grasa, utilizando el espectro de la luz visible. La HGP es una sonda óptica que es insertada en la canal de 5 a 10 cm de distancia desde la línea media, usualmente entre la 10a y 11a costilla o en la 3a y 4a vértebra lumbar. La sonda es introducida poco a poco hasta registrar la presencia de músculo y grasa; una vez tomadas las lecturas, la sonda puede retirarse. La sonda tiene un orificio óptico en el cual se encuentran dos diodos; un diodo emisor de luz llamado LED (*light-emitting diode*) y un fotodetector. Cuando el orificio óptico es introducido a la canal y los diodos atraviesan el músculo, el detector indica un incremento en la luz reflejada. Simultáneamente, la profundidad de la sonda es leída por un plato en la superficie de la canal que está conectado a un microprocesador, usado para registrar la medición del depósito de grasa y músculo.⁵¹ Los resultados de la medición con el HGP incluyen el espesor de la grasa subcutánea, profundidad del músculo, marmoleo, espesor de la pared de la canal, porcentaje del músculo magro y el grado de clasificación de la canal.

Ventajas de uso de la HGP

Entre las ventajas de mayor importancia que presenta esta tecnología están su fácil manejo y la obtención de mediciones objetivas. La velocidad de respuesta es rápida; es decir, el tiempo que tarda la computadora en registrar los datos es de una lectura por segundo,⁴⁴ lo que permite realizar un mayor número de mediciones en menor tiempo.

Desventajas de uso de la HGP

La principal desventaja es que no se puede usar en animales en vivo, sólo se utiliza en canales. Se requiere de un operador entrenado, porque aunque el manejo es fácil, se deben conocer los errores debidos al funcionamiento del equipo para poder tomar decisiones. Su uso en línea de procesamiento está limitado, ya que la colocación de la sonda en los puntos marcados en la canal debe ser muy buena para obtener resultados confiables. Además, el movimiento de la canal en línea implicaría un gran retraso en el proceso, desventaja que también presenta la tecnología de VIA.

Otros equipos con el mismo principio de funcionamiento son:

- El MFA (Danish Meat Fat Automatic Probe) de Dinamarca.
- El SKG (Schlachtkoerper-Klassifizierung-Geraet) de la República Federal Alemana.
- El UP (Ulster Probe) de Irlanda.

Conductividad eléctrica total del cuerpo (ToBEC)

Las mediciones que se realizan con ToBEC son confiables, pero ello depende de la posición existente de cada canal o corte en la máquina, además de tener en cuenta la temperatura del producto que se mide. Para la medición de la conductividad eléctrica se utiliza un instrumento llamado EMME ("Electronic Meat Measuring Equipment"). Este equipo es una sonda electromagnética que consta de:

- Una cámara exploradora o túnel de diámetro variable y de 218 cm de largo
- Un resorte alargado de alambre de cobre alrededor de la cámara exploradora, que sirve para generar un campo electromagnético.
- Una corriente de 2.5 MHz.

Una canal está compuesta de masas conductivas y no conductivas. El tejido muscular es buen conductor, por el agua y la concentración de electrolitos que contiene. En cambio, el hueso y la grasa poseen pocas propiedades conductivas, por lo que generalmente son ignorados. Los valores de conductividad de músculo son de 4.0 Mohm/cm y de la grasa 0.3 Mohm/cm.

El ToBEC mide la cantidad de tejido muscular en una canal o corte cuando la carne pasa a través del inductor electromagnético de bajo nivel, creado en el túnel o cámara exploradora; los cambios de conductividad medidos en el inductor sirven para determinar la cantidad de músculo magro en cada producto.

Las investigaciones con ToBEC han mostrado que es muy efectivo en la predicción del valor de las canales de cerdos⁵² y de bovinos⁵³ y ovejas.⁵⁴

Ventajas del uso de ToBEC

Este equipo es de respuesta fácil y confiable, se puede utilizar en canales o cortes y no existen riesgos de contaminación por manipulación del hombre.

Desventajas del uso de ToBEC

El ToBEC todavía no es muy común en líneas de procesamiento; además, la posición en la que se maneja la canal o el producto pueden causar problemas para la evaluación. Sin embargo, un reciente estudio indicó que la orientación si se mantiene constante y bien definida, no influye en la predicción del peso o el porcentaje del magro de los jamones de cerdos, recomendando la posición posterior o dorsal.⁵⁵ El tamaño de las canales debe ser pequeño, de lo contrario no se puede utilizar el equipo, ya que el tamaño del túnel está restringido según las especificaciones existentes en el mercado.

Otras técnicas

Tomografía axial computarizada (CAT)

La tomografía axial ha sido utilizada para predecir la composición de los animales vivos y de la canal. Esta técnica hace uso de los rayos X, por lo que una de sus grandes desventajas es que causa una irradiación a altos niveles en los animales, provocando problemas de salud. Esta técnica se trabaja como la velocidad de ultrasonido, con las mismas ventajas de uso.^{17,19,56}

Interacción infrarroja

Esta técnica determina el peso del cuerpo, la masa libre de grasa, el magro total del cuerpo y la grasa total, basándose en los principios de la absorción de luz, reflexión y espectroscopia de cercano-infrarrojo. El instrumento usa un simple rayo monocromático y una sonda de fibra óptica. Como ventajas principales, esta técnica es segura, no interviene físicamente en el tejido, es rápida, fácil de usar, y hace buenas predicciones de la grasa total, además es independiente del observador. Sin embargo, es un poco inexacto para determinar la composición corporal y tiene una dudosa precisión.^{2,26}

Gravedad específica (GE)

La GE de una canal es el resultado de la densidad de sus componentes. La GE de la grasa (0.92) es considerablemente más baja que la del músculo (1.06) y hueso (1.5), por lo que, cuanto mayor sea la cantidad de grasa en la canal, más baja será la GE. El método se basa en el principio de Arquímedes de que un cuerpo inmerso en agua desplaza un volumen igual al suyo propio; de esta manera, puede determinarse la densidad pesando en aire y pesando en agua. Las ventajas son que es simple y fácil de manejar, no hay pérdida del valor de la canal, y las medidas pueden tomarse en pequeños grupos de ganado como una rutina de la planta de procesamiento. Además, la GE no parece estar influida por el peso de la canal. En cuanto a las desventajas, este recurso no es muy preciso para predecir la composición de canales individuales y se corre el riesgo de contaminación cruzada entre las canales.⁴⁶

Dilución

Robelin⁵⁷ expuso que a través de la técnica de dilución es muy probable la predicción de la composición del cuerpo en animales de granja. Teóricamente es posible la evaluación de la medición de peso de lípidos y agua presente en el cuerpo. No obstante, en la práctica, sólo el peso total del cuerpo y el agua pueden ser medidos en vivo. Las ventajas del uso de técnicas como la dilución K40, mediciones eléctricas de la carne, rayos X y predicciones fisiológicas fueron discutidas por Kempster *et al.*,² aunque la mayoría no se puedan utilizar bajo condiciones comerciales.⁵⁸

Impedancia bioeléctrica

La impedancia bioeléctrica es un método seguro, barato, portátil y confiable para determinar la composición de canales de animales de abasto. Usa una corriente alterna de 800 μ A y 50 kHz. La corriente alterna es transmitida desde los electrodos externos a los internos, midiendo así la cantidad de resistencia que el tejido opone al paso de la corriente. Cuanto más grasa y hueso haya, más resistencia a la corriente habrá. La impedancia bioeléctrica ha sido usada para medir cantidad de músculo y grasa en cerdos,⁵⁹ ovejas⁶⁰ y bovinos.⁶¹

Conclusión

La evaluación de canales es la principal herramienta con la que los productores cuentan para dar el valor adecuado a su ganado. Una evaluación acertada y un pago en función a la calificación obtenida son la mejor ayuda que los ganaderos poseen para hacer más eficiente su ciclo de producción. Sin embargo, aunque hasta ahora los sistemas de evaluación se han manejado fundamentalmente con subjetividad, hay una gran cantidad de tecnología en vías de desarrollo para hacer de la evaluación una herramienta veraz, exacta y repetitiva. Muchas técnicas sofisticadas y sus combinaciones han sido evaluadas, para poder asegurar la estimación objetiva de las canales, obteniéndose cada vez mejores resultados.

La mayoría de las investigaciones han dirigido sus esfuerzos a la predicción de la cantidad de músculo magro y de la grasa, que son los factores más importantes en la estimación del rendimiento de la canal y, por lo tanto, en el pago de la producción. También se han expuesto algunos de los trabajos orientados a obtener datos sobre la calidad de la canal, cuya importancia en el valor de la canal cobra mayor relevancia con el tiempo.

También es importante hacer hincapié que aún queda mucho por investigar respecto a la tecnología empleada para la evaluación objetiva de canales. El desarrollo de técnicas de evaluación mecanizadas debe enfocarse fundamentalmente a un fácil manejo, a un adecuado empleo en las líneas de sacrificio, y a que presenten datos lo más exactos posibles.

Referencias

1. Kauffman RG. Electronic evaluation of meat quality. Proceedings of the International Symposium of Electronic Evaluation of Meat in Support of Value-Based Marketing; 1991 March 27-28; West Lafayette (IN). West Lafayette (IN): Purdue University, 1991:99-221.
2. Kempster AJ, Cuthbertson A, Harrington G. Carcass evaluation in livestock breeding, production and marketing. London (UK): Granada Publishing Limited, 1982.
3. Sorensen SE. Danish work on automated carcass measurements with emphasis on beef classification. In: Brownlie LE, Hall WJA, Fabiansson SU, editors. The automated measurement of beef. Sydney, Australia: Australian Meat and Livestock Corp., 1989:75-80.
4. Johnson ER, Ball B. Prediction of the commercial yield of beef from carcass destined for the Japanese market by using measurements from the carcass and non-carcass parts. Austr J Exp Agric 1989;29:489-496.
5. Méndez MD, Rubio LMS. Importancia y necesidad de la evaluación de canales. Memorias del Curso de Actualización: Ganadería, Industria y Ciencia de la Carne en México; 1996 mayo 27-31; México (DF). México (DF): Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, 1996:162-166.
6. Jensen WK. Optical probes: single probes and classification system. Proceedings of the Symposium of Electronic Evaluation of Meat in Support of Value-Based Marketing; 1991 March 27-28; West Lafayette (IN). West Lafayette (IN): Purdue University, 1991:11-22.
7. López-Palacios MG. Validación y aplicación de sensores de medición en procesos de transformación y conservación de alimentos (tesis de licenciatura). Cuautitlán, Edo. de México, México: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM, 1995.
8. Brethour JR. The repeatability and accuracy of ultrasound in measuring backfat of cattle. J Anim Sci 1992;70:1039-1044.
9. Swatland HJ. Objective measurement of physical aspects of meat quality. Proceedings of the Reciprocal Meat Conference; 1989 June 11-14; Guelph, Canada. Guelph, Canada: American Meat Science Association, 1989;42:65-74.
10. Sorensen SE. Possibilities for application of video image analysis in beef carcass classification. In: Lister D, editor. *In vivo* measurements of body composition in meat animals. London (UK): Elsevier Applied Science Publisher, 1984:113-122.
11. Rubio LMS, Méndez MD, Noricumbo SJL. Evaluación de las canales de bovino (II). Acontecer Bovino 1998;3:4-8.
12. Phillips D. Carcass classification in Australia. In: Brownlie LE, Hall WJA, Fabiansson SU, editors. The automated measurement of beef. Sydney, Australia: Australian Meat and Livestock Corp., 1989:187-195.
13. Cross HR, Gilliland DA, Durland PR, Seideman S. Beef carcass evaluation by use of a video image analysis system. J Anim Sci 1988;57:908-917.
14. Cross HR, Smith GC, Murphey CE, Stiffer DM, Savell JW, Douglas LW. USDA beef grades: an evaluation of the accuracy and uniformity of their application. J Food Qual 1984;7:107-120.
15. Cross HR, Belk KE. Objective measurement of carcass and meat quality. Meat Sci 1994;36:191-202.
16. Allen P. New approaches to measuring body composition in live meat animals. In: Wood JD, Fisher AV, editors. Reducing fat in meat animals. London (UK): Elsevier Applied Science Publisher Limited, 1990:201-253.

17. Cross HR, Rosenthal EM, Whittaker D, Savell JW. The objective measurement of value in meat animals. In: Brownlie LE, Hall WJA, Fabiansson, SU, editors. The automated measurement of beef. Sydney, Australia: Australian Meat and Livestock Corp., 1989:1-13.
18. Jones SDM. Potential and available electronic technologies for quantitative carcass evaluation. Introductory comments. Proceedings of the Symposium of Electronic Evaluation of Meat in Support of Value-Based Marketing; 1991 March 27-28; West Lafayette (IN). West Lafayette (IN): Purdue University, 1991:7-9.
19. Standal N. Establishment of computed tomography for farm animals. In: Lister D, editor. *In vivo* measurement of body composition in meat animals London (UK): Elsevier Applied Science Publisher, 1984:43-51.
20. Robinson DE. Ultrasonic scanning technology. Sydney, Australia: Ultrasonics and Medical Technology Group, Division of Radiophysics, CSIRO, 1989.
21. Bailey CM, Jensen J, Andersen BB. Ultrasonic scanning and body measurements for predicting composition and muscle distribution in young Holstein $\times$ Friesian bulls. *J Anim Sci* 1986;93:1337-1346.
22. Ozutsumi K, Chikuni K, Koishikawa T, Kato S, Ito K, Kobayashi M, *et al.* Improved method for estimating m. longissimus thoracis fat and area in live beef cattle with a color scanning scope. *Jpn J Zootech Sci* 1988;59:916-921.
23. Cross HR, Whittaker AD. The role of instrument grading in a beef value-based marketing system. *J Anim Sci* 1992;70:984-989.
24. Swatland HJ. Physical measurements of meat quality: optical measurements. Pros and cons. *Meat Sci* 1994;36:251-259.
25. Thane BT, Whittaker AD. Automated assessment of marbling in ultrasound images of beef animals. Paper N° 7055. Proceedings for the International Summer Meeting of the ASAE; 1990 June 24-27; Columbus, Ohio. Columbus, Ohio: American Society of Agricultural Engineers, 1990:1-20.
26. Lake RJW. Ultrasonics in meat quality. In: Brownlie LE, Hall WJA, Fabiansson SU, editors. The automated measurement of beef. Sydney, Australia: Australian Meat and Livestock Corp., 1989:157-163.
27. Miles CA, Fursey GAJ, Fisher AV, Brown AJ. Predicting carcass composition from the speed of ultrasound in live Hereford bulls. Proceedings of the 80th Meeting of the British Society of Animal Production; 1983 March 21-23; Harrogate (UK). Harrogate (UK): British Society of Animal Production, 1983:36:526.
28. Edwards JW, Cannell RC, Garrett RP, Savell JW, Cross HR, Longnecker MT. Using ultrasound, linear measurements and live fat thickness estimates to determine the carcass composition of market lambs. *J Anim Sci* 1989;67:3322-3330.
29. Wood JD. Objective approaches to carcass classification. UK perspective. In: Brownlie LE, Hall WJA, Fabiansson SU, editors. The automated measurement of beef. Sydney, Australia: Australian Meat and Livestock Corp., 1989:67-73.
30. Denoyelle C, Fisher A, Quilichini Y. Application in the meat industry of velocity of sound to predict beef carcass composition. Proceedings of the 41st Annual International Congress of Meat Science and Technology; 1995 August 20-25; San Antonio (TX). San Antonio (TX): American Meat Science Association, 1995;2:189-190.
31. Park B, Whittaker AD, Miller RK, Hale DS. Predicting intramuscular fat in beef longissimus muscle from speed of sound. *J Anim Sci* 1994;72:109-116.
32. Thwaites CJ. Ultrasonic estimation of carcass composition. *Austr Meat Res Committee Rev* 1984;47:1-32.
33. Greer EB, Most PC, Lowe TW, Giles LR. Accuracy of ultrasonic backfat tester in predicting carcass P₂ fat depth from live pigs measurement and the effect on accuracy of mislocating the P₂ site on the live pig. *Austr J Exp Agric* 1987;27:27-34.
34. Simm G. The use of ultrasound to predict the carcass composition of live cattle- a review. *Anim Breed Abstr* 1983;51:55-65.
35. Upton WH, Ryan DM, Mansfield BW, Sundstrom B. An evaluation of the Scanoprobe for measuring fat depth of beef cattle. *Anim Prod Austr* 1984;15:764 (Abstr.).
36. Eveleigh CF, Thwaites CJ, Hassab PB, Paton PG, Smith JR, Upton WH. A note on the ability of three portable ultrasonic probes to predict backfat thickness in cattle. *Anim Prod* 1985;41:247-248.
37. McLaren DG, Novakofski J, Parrett DF, Lo LL, Singh SD, Neumann KR, McKeith FK. A study of operator effects on ultrasonic measures of fat depth and longissimus muscle area in cattle, sheep and pigs. *J Anim Sci* 1991;69:54-66.
38. Whittaker AD, Park BS, Thane BR, Miller RK, Savell JW. Principles of ultrasound and measurement of intramuscular fat. *J Anim Sci* 1992;70:942-952.
39. Ferguson DM. Evaluation of the efficacy of real time ultrasound for predicting carcass lean in pork and beef preliminary results. In: Brownlie LE, Hall WJA, Fabiansson SU, editors. The automated measurement of beef. Sydney, Australia: Australian Meat and Livestock Corp., 1989:165-173.
40. Hamlin KE, Green RD, Perkins TL, Cundiff LV, Miller MF. Real-time ultrasound measurement of fat thickness and longissimus muscle area: I. Description of age and weight effects. *J Anim Sci* 1995;73:1713-1724.
41. Hamlin KE, Green RD, Cundiff LV, Wheeler TL, Dikeman ME. Real-time ultrasound measurement of fat thickness and longissimus muscle area: II. Relationship between real-time ultrasound and carcass retail yield. *J Anim Sci* 1995;73:1725-1734.
42. Ophir J, Cespedes I, Ponnekanti E, Yazdi Y, Li X. Elastography: a quantitative method of imaging the elasticity of biological tissues. *Ultrasonic Imaging* 1991;13:111.
43. Rubio-Lozano MS. Ultrasonic elastography to evaluate beef and pork quality (Ph. D. Dissertation). College Station, (TX): Texas A&M University, 1995.
44. Allen DM. Automated grading of beef and pork carcasses. Proceedings of the Reciprocal Meat Conference; 1984 June 17-20; Lubock, Texas. Lubock, Texas: Texas Tech University, American Meat Science Association, 1984;37:94-98.
45. Eldridge GA. Image analysis for meat and carcass description. In: Brownlie LE, Hall WJA, Fabiansson SU, editors. The automated measurement of beef. Sydney, Australia: Australian Meat and Livestock Corp., 1989:179-186.
46. Fisher AV. New approaches to measuring fat in the carcasses of meat animals. In: Wood JD, Fisher AV, editors. Reducing fat in meat animals. London (UK): Elsevier Applied Science Publisher Limited, 1990.
47. Cross HR, Gililand DA, Durland PR, Seideman S. Beef carcass evaluation by use of a video image analysis system. *J Anim Sci* 1983;57:908-917.
48. Nielsen T. Vision image analysis for on-line colour measurements on pork loins. Proceedings of the 41st Annual International Congress of Meat Science and Technology; 1995 August 20-25; San Antonio (TX). San Antonio (TX): American Society of Animal Science, 1995;2:185-186.
49. Ferguson DM, Thompson JM, Barrett-Lennard D, Sorensen B. Prediction of beef carcass yield using whole carcass VIASCAN. Proceedings of the 41st Annual Inter-

- national Congress of Meat Science and Technology; 1995 August 20-25; San Antonio (TX). San Antonio (TX): American Society of Animal Science, 1995;2:183-184.
50. Hopkins DL. An evaluation of the Hennessy grading probe for measuring fat depth in beef carcasses. *Austr J Exp Agric* 1989;29:781-784.
 51. Swatland HJ, Anantharayanan SP, Goldenberg AA. A review of probes and robots; implementing new technologies in meat evaluation. *J Anim Sci* 1994;72:1475-1486.
 52. Akridge JT, Brorse BW, Wipker LD, Forrest JC, Kuei CH, Schinckel AP. Evaluation of alternative techniques to determine pork carcass value. *J Anim Sci* 1992;70:18-28.
 53. Gwartney BL, Calkins CR, Lin RS, Forrest JC, Parkhurst AM, Lemnager RP. Electromagnetic scanning of beef quarter to predict carcass and primal lean content. *J Anim Sci* 1994;72:2836-2842.
 54. Berg EP, Forrest JC, Thomas DL, Nusbaum N, Kauffman RG. Electromagnetic scanning to predict lamb carcass composition. *J Anim Sci* 1994;72:1728-1736.
 55. Meseck NL, Gwartney BL, Calkins CR, Miller PS. Influence of sample orientation on prediction of fresh ham lean content by electromagnetic scanning. *J Anim Sci* 1997;75:3169-3173.
 56. Glodek P. The measurement of body composition. Opportunities and requirements in animal production. In: Lister D, editor. *In vivo* measurements of body composition in meat animals. London (UK): Elsevier Applied Science Publisher, 1984:8-21.
 57. Robelin J. Prediction of body composition *in vivo* by dilution technique. In: Lister D, editor. *In vivo* measurements of body composition in meat animals. London (UK): Elsevier Applied Science Publisher, 1984:106-112.
 58. Lake R. Ultrasonic evaluation: image analysis and industrial applications. Proceedings of the Symposium of Electronic Evaluation of Meat in Support of Value-Based Marketing; 1991 March 27-28; West Lafayette (IN). West Lafayette (IN): Purdue University, 1991:25-47.
 59. Marchello MJ, Slinger WD. Use of bioelectrical impedance to predict leanness of Boston bulls. *J Anim Sci* 1992;70:3443-3450.
 60. Berg EP, Marchello MJ. Bioelectrical impedance analysis for the prediction of fat-free mass in lambs and lamb carcasses. *J Anim Sci* 1994;72:322-329.
 61. Marchello MJ, Slinger WD. Bioelectrical impedance can predict skeletal muscle and fat-free skeletal muscle of beef cows and their carcasses. *J Anim Sci* 1994;72:3118-3123.