

ESTIMACIÓN DEL GRADO DE MARMOLEO DE CANALES DE BOVINO SONORENSES UTILIZANDO DIFERENTES METODOLOGÍAS: ANÁLISIS DE IMAGEN, EVALUACIÓN USDA Y EXTRACCIÓN CON SOLVENTES

ESTIMATION OF THE DEGREE OF MARBLING OF SONORAN BEEF CARCASSES USING DIFFERENT METHODS: IMAGE ANALYSIS, USDA EVALUATION, AND SOLVENT EXTRACTION

Gastón R. Torrescano-Urrutia^{1*}, Armida Sánchez-Escalante¹, Martín Gustavo Vásquez-Palma², Antonio Francisco Varguez-Pech³, Rey David Vargas-Sánchez⁴ y Dino A. Pardo-Guzmán²

¹ Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, AC), Carretera a la Victoria km 0.6. C.P.83304. Hermosillo, Sonora, México.

² Creao Tecnologías SA de CV. Rafael a Morera de Romero 47. Col. 5 de mayo. C.P. 83010. Hermosillo, Sonora México.

³ Instituto Tecnológico Superior del Sur de Yucatán. Carr. Muna-Felipe Carrillo Puerto Tramo Oxkutzcab - Akil Km. 41+400. C.P. 97880. Oxkutzcab, Yucatán, México.

⁴ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa. Blvd. San Ángel s/n Predio Las Coloradas. C.P. 80236. Culiacán, Sinaloa, México.

RESUMEN

El marmoleo y la edad son parámetros que determinan el grado de calidad de canales de bovino; sin embargo, la evaluación del grado de marmoleo se realiza visualmente, pudiendo carecer de exactitud si el evaluador no está perfectamente entrenado, pudiendo provocar falta de precisión, por ello se ha hecho necesario crear sistemas objetivos para medir este parámetro. El objetivo de este trabajo fue cuantificar el marmoleo de canales de bovino utilizando la tecnología de análisis de imagen, y compararlo con el sistema de clasificación de la USDA, y con el contenido de grasa obtenido por el método de extracción con solventes. Las imágenes de 70 canales de ganado criollo de bovino producidas en el estado de Sonora, fueron obtenidas entre la 12^a y 13^a costilla. Para la valoración de imágenes se utilizó el software del sistema de visión artificial eMeater; obteniéndose un coeficiente de correlación de 0.87 ($p < 0.05$) con respecto a la clasificación de la USDA, y 0.86 ($p < 0.05$) con respecto al método de extracción con solventes. La información obtenida sugiere que esta metodología es muy útil para medir el marmoleo en canales, haciéndola objetiva y sobre todo para eliminar el error generado cuando se realiza una evaluación subjetiva.

Palabras Clave: Análisis de imagen, bovino, marmoleo.

ABSTRACT

The parameters of marbling and age determine the quality of beef carcasses. The degree of marbling is often visually evaluated, but the accuracy of this evaluation can vary depending on the training and expertise of the evaluator. For this reason, more objective systems for measuring these parameters are necessary. The objective of this study was to quantify the marbling of beef carcasses using image analysis technology and to compare the results with those of the USDA classification system and the solvent extraction method for determining fat content. Images between the 12th and 13th ribs of 70 creole cattle carcasses from the state

of Sonora, Mexico, were taken. To evaluate the images, image analysis technology was implemented using the eMeater software. The results of the image analysis had correlation coefficients of 0.87 ($p < 0.05$) with the USDA classification method and 0.86 ($p < 0.05$) with the solvent extraction method. The results suggest that image analysis technology is very useful for measuring the marbling of carcasses and represents a more objective measure that can eliminate the error possibly generated by subjective evaluations.

Key words: Image analysis, beef, marbling.

INTRODUCCIÓN

La calidad y el precio de la carne dependen de las características de la canal y esta a su vez de las características de los animales. Las condiciones bajo las cuales se desarrolla la ganadería en México es de forma extensiva, aunque existe la finalización en corral de engorda (SAGARPA, 2004). Los estándares de clasificación de canales de bovino en México y Estados Unidos se basan en estimar, hasta donde sea posible, la edad fisiológica y el marmoleo del animal mediante determinaciones visuales realizadas por personal técnico asignado por los gobiernos. En México, la clasificación de la carne de bovino en canal es regulada por la norma NMX-FF-078-SCFI-2002, la cual tiene como objetivo determinar la calidad de las canales para asignar un mayor precio a la de mayor calidad. Las razones por las que se clasifican las canales son: a) para que exista un mejor entendimiento entre el productor y el comprador, b) orientar la producción hacia el tipo de canal más solicitado y c) ofrecer al ganadero elementos de juicio para definir su sistema de explotación (Secretaría de Fomento Ganadero, 2004).

Para facilitar y dar precisión al proceso de Clasificación de Canales en rastros y salas de corte, existen en el mercado equipos que mediante visión artificial (VIA) y utilizando algoritmos matemáticos facilitan y dan precisión al proceso de clasificación de canales en plantas de sacrificio y salas de

corte, permitiendo conocer de manera precisa e inmediata, información de parámetros como: área del ojo de la costilla, porcentaje de marmoleo, espesor de la grasa dorsal, color de la carne y grasa de cobertura; criterios que se traducirán en un mejor precio de la carne frente a los consumidores, o frente a la demanda del mercado. En estos equipos de medición, la digitalización convierte la imagen grabada en una matriz de puntos, que son identificados en soporte informático en función de sus coordenadas, entre otras, posición, luminosidad y color (Swatland, 1995a). De esta forma, en la imagen digitalizada, se podrán realizar múltiples mediciones de longitudes, perímetros o áreas, conteos de células o partículas, medidas de color, de densidad, etc. Toda la información que proporciona la imagen permite numerosas aplicaciones dentro del campo de la producción animal (Van der Stuyft et al., 1991a).

El marmoleo en la carne del ganado vacuno es un factor importante que influye en parámetros como el sabor, jugosidad, terneza y flavor (Platter et al., 2005). El ganado terminado con dietas con alto contenido de concentrados tarda de 80-350 días antes de ser enviadas al faenado. Durante este período de acabado en la engorda se lleva a cabo un crecimiento más rápido y eficiente del animal, lo que permite una mayor deposición de grasa intramuscular, alcanzando las canales un grado de calidad más alto, en comparación con ganado de sistemas de alimentación a base de forraje (May et al., 1992).

Las mediciones en el ganado bovino que se pueden considerar objetivas son el peso, la edad, el sexo; mientras que como subjetivas, la conformación y el marmoleo. En la canal se tiene el peso y su longitud como evaluaciones objetivas; y como subjetivas a la grasa de cobertura y la conformación (López y Casp, 2004). Este trabajo de investigación fue realizado para cuantificar el marmoleo de canales de bovino utilizando análisis de imagen, y compararlo con el marmoleo obtenido mediante el sistema de clasificación de la USDA (USDA, 1997) y el método de extracción de grasa con solventes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el presente trabajo, se analizaron 70 canales de bovino procedentes de ganado producido en el

estado de Sonora, de raza criolla de diferentes sexos y provenientes de animales de un sólo productor, con edades comprendidas entre los 2 y 3 años, las cuales fueron sacrificadas en un rastro TIF ubicado en la ciudad de Hermosillo, Sonora. El peso de las canales (kg) fue determinado en la canal fría, después de 24 horas de refrigeración.

La determinación del porcentaje de marmoleo en las canales se llevó a cabo por medio de un Clasificador Automático de Canales (eMeater), cuyo prototipo se muestra en la Figura 1, equipo de visión artificial diseñado y patentado por el Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería Avanzada, SA de CV (CIDIA), evaluación que fue realizada en la canal izquierda, sobre el músculo *Longissimus thoracis* localizado entre la duodécima y la decimotercera costilla. La evaluación consistió en capturar las imágenes de las canales, una por cada canal, posteriormente cada imagen fue suavizada con un filtro, para después ser segmentada y poder calcular el área del músculo, y a continuación calcular por medio del algoritmo del software del equipo, el porcentaje de grasa en el músculo. La metodología de clasificación del marmoleo USDA (USDA, 1997), involucra nueve grados: Abundante, Ligeramente Abundante, Moderado, Modesto, Pequeño, Ligerero, Trazas y Prácticamente Nulo. De menor o mayor, el grado de marmoleo se señaló con números: 1 ("prácticamente nulo"), 2 ("trazas"), 3 ("ligero"), 4 ("pequeño"), 5 ("modesto"), 6 ("moderado"), 7 ("ligeramente abundante"), 8 ("moderadamente abundante") y 9 ("abundante"). Para evaluar el marmoleo se realizó un corte entre la 12ª y 13ª costilla del rib eye, previa refrigeración de la canal por 24 h a una temperatura de 2 a 4 °C. Posteriormente, se dejó expuesta el área del ojo de la costilla por 10 a 15 minutos (blooming), para observar la proporción y distribución de grasa intramuscular en el área del ojo de la misma (NLSMB, 1989). La medición del grado de marmoleo se realiza utilizando fotos oficiales del USDA, las cuales también son usadas en México.

El análisis de extracto etéreo (39.1.05) fue realizado por triplicado a muestras de carne obtenidas de cada canal evaluada en este estudio, mediante los procedimientos descritos por la AOAC (2005), utilizando como solvente de extracción éter de petróleo.

Análisis de regresión y correlación fueron realizados entre las metodologías de interés, con el propósito de establecer el nivel de comparación entre ellas. Además, un

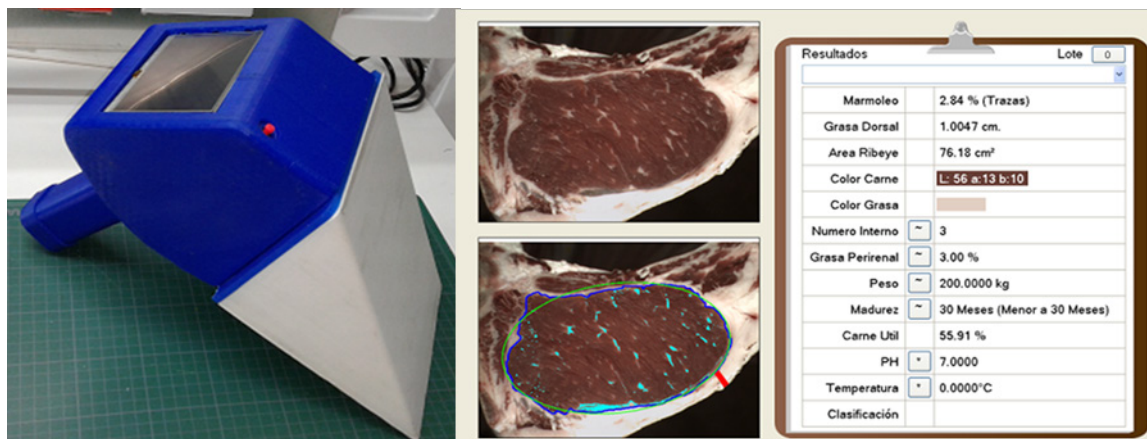


Figura 1. Prototipo del equipo utilizado para la clasificación de las canales evaluadas.

Figure 1. Prototype of equipment used to classify the evaluated bovine carcasses.

análisis de componentes principales fue llevado a cabo para detallar el nivel de asociación entre las metodologías aplicadas; el software estadístico utilizado en este estudio fue el NCSS, versión 2007 (NCSS, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los pesos en frío de las 70 canales evaluadas muestran que estuvieron en un rango de peso de 294 a 327 kg, la grasa de cobertura de 0.39 a 1.26 cm y área del ojo de la costilla de 69.2 a 89 cm²; estos resultados se pueden considerar como normales para las canales producidas en el estado de Sonora, ya que éstas se encuentran dentro de los promedios encontrados por Torrescano *et al.*, 2010. Por otro lado, analizando la operatividad durante la evaluación de las canales, la cual es llevada a cabo por personal entrenado, la evaluación tomó, aproximadamente, un tiempo de un minuto por canal; mientras que utilizando el equipo optoelectrónico con visión artificial eMeater, el tiempo de evaluación sólo fue de 15 segundos por canal, representando una disminución en tiempo del 75%. El resultado anterior a pesar de que no coincide con lo reportado por Schutte *et al.*, 2008, quienes reportaron que expertos clasificadores en plantas de sacrificio les toma de 9 a 18 segundos evaluar una canal, en rastros con velocidad de sacrificio de 200 a 400

canales por hora, el resultado de 15 segundos por canal si concuerda con las necesidades de clasificación de las plantas con este equipo.

El análisis estadístico de los resultados del grado de marmoleo obtenidos mediante la clasificación USDA y el analizador de imagen (eMeater) se presenta en la Tabla 1, donde se muestra la relación entre las categorías de clasificación del USDA y el equipo de análisis de imagen, así como el contenido de grasa intramuscular (%), observándose que los análisis realizados no mostraron diferencia significativa ($p>0.05$) en los porcentajes de marmoleo de acuerdo a la categoría, entre el panel de expertos y el equipo de análisis de imagen. Ambas metodologías coincidieron en que más del 40% de las canales evaluadas tuvieron grado de marmoleo entre pequeño y modesto. En base a lo reportado por Wilson *et al.* (1999) las categorías pequeño y modesto presentan un contenido de grasa intramuscular entre 4.0 y 5.8%, respectivamente; lo cual coincide con los resultados de las dos metodologías utilizadas en este estudio. Mientras que Dow *et al.* (2011), indican que un contenido de grasa intramuscular entre 3.5 y 7.1% es considerado para las categorías de pequeño y modesto.

Tabla 1. Distribución de frecuencias del marmoleo de canales de bovino obtenido por USDA, Análisis de Imagen y el contenido de grasa intramuscular por el método de extracción con solvente.

Table 1. Frequency distributions of marbling in beef carcasses obtained by the USDA method, image analysis, and the solvent extraction method for determining intramuscular fat content.

Categoría USDA	Distribución de las muestras				Contenido de grasa por extracción con solvente (%)			Referencia*	Referencia**
	Evaluación USDA		Evaluación Análisis Imagen		Promedio \pm DE	Min.	Max.		
	No.	%	No.	%				Grasa (%) / Categoría / grado de marmoleo	Grasa (%) / grado de marmoleo
1	6	8.6	6	8.6	1.3 \pm 0.7	0.5	2.4	-	
2	9	12.9	8	11.4	2.1 \pm 0.7	0.8	4.2	2.3-3.9/4.0-4.9/ligero	2.2-4.0/ligero
3	7	10.0	10	14.3	3.7 \pm 1.3	0.5	6.2	2.3-3.9 / 4.0-4.9/ligero	2.2-4.0/ligero
4	19	27.1	13	18.6	4.7 \pm 1.0	3.2	7.9	4.0-5.7/5.0-5.9/pequeño	3.5-5.4/pequeño
5	14	20.0	16	22.9	5.5 \pm 1.0	3.1	7.9	4.0-5.7/5.0-5.9/pequeño	3.5-5.4/pequeño
6	6	8.6	7	10.0	6.6 \pm 1.1	4.9	7.9	5.8-7.6/6.0-6.9/modesto	5.0-7.1/modesto
7	2	2.9	3	4.3	8.0 \pm 2.3	4.9	11.1	7.7-9.7/7.0-7.9/moderado	6.6-9.1/moderado
8	3	4.3	1	1.4	11.4 \pm 0.6	11.1	12.4	9.9-12.1/8.0-8.9/lig. ab.	8.9-11.43/lig. ab.
9	4	5.7	6	8.6	11.6 \pm 1.3	8.6	13.2	9.9-12.1 / 8.0-8.9/lig. ab.	8.9-11.43/lig. ab.
Total	70	100.0	70	100.0					
t-test	NS		NS						

Categoría USDA: 1, prácticamente nulo; 2, trazas; 3, ligero; 4, pequeño; 5, modesto; 6, moderado; 7, ligeramente abundante; 8, moderadamente abundante; 9, abundante.; Lig. ab., ligeramente abundante.

NS, no significativo ($P>0.05$).

*Wilson *et al.* (1999); **Dow *et al.* (2011).

En la Tabla 2 se muestran los coeficientes de correlación entre las dos metodologías de medición de marmoleo utilizadas, y el análisis químico de grasa practicados a los músculos de las canales evaluadas. Los resultados indican que todos los coeficientes de correlación presentaron un valor superior a 0.5, a excepción del peso de las canales. La clasificación estadounidense presentó la correlación más alta con el contenido de grasa etéreo de las muestras, siendo esta de $r = 0.98$, seguida por la metodología de análisis de imagen (eMeater) con $r = 0.86$ ($p < 0.05$). Estos resultados indican que las determinaciones del grado de marmoleo de las canales realizadas con ambos métodos son buenas para su cuantificación, sobresaliendo el de USDA. Sin embargo, es importante destacar que el sistema de visión artificial desarrollado permitió evaluar el marmoleo de las canales con un coeficiente de correlación de 0.87 ($p < 0.05$), con respecto a la clasificación de la USDA, y de 0.86 ($p < 0.05$) con respecto al método de extracción de grasa con solventes. Lo anterior sugiere que el instrumento óptico tiene cierto grado de precisión, aunque puede ser mejorado, y posteriormente de beneficio para su utilización en la industria cárnica. No obstante, estos resultados presentan valores de correlación mayores a los obtenidos por otros investigadores, quienes al evaluar canales de toros provenientes de cruza de Holstein y Charolais, con el uso de fotografías capturadas con una cámara digital y posteriormente analizadas mediante un software de análisis de imagen (VIA, por sus siglas en inglés), obtuvieron una $r = 0.73$ (Irie y Kohira, 2012). Mientras que al evaluar canales de ganado Wagyu (japonés de capa oscura) con análisis de imagen por computadora (CIA, por sus siglas en inglés), se obtuvo una $r = 0.71$ (Yang et al., 2006).

Según los procedimientos de aprobación de instrumentos de visión artificial por el USDA (2005), la precisión operacional del instrumento a evaluar debe presentar una R^2 de 0.9 o superior para el grado de rendimiento de las canales. Considerando lo anterior, los resultados obtenidos con el clasificador eMeater presentaron una R^2 de 0.77 (Figura 2) en relación al marmoleo con respecto a la evaluación de clasificación de canales de la USDA. Lo anterior puede ser debido a posibles errores en la adquisición de las fotografías, lo que genera problemas en la nitidez de las mismas; por lo cual será necesario realizar mejoras en el mismo, como anteriormente se mencionó, lo cual incluirá realizar adecuaciones en la óptica del instrumento, y probablemente en el algoritmo de su software.

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre los métodos evaluados.
Table 2. Correlation coefficients between the evaluated methods.

	Peso	Anal. Imagen	USDA	Grasa
Peso	1	0.0065	0.0318	0.0378
Anal. Imagen		1	0.8788*	0.8651*
USDA			1	0.9801*
Grasa				1

$n=70$.
* $p < 0.05$

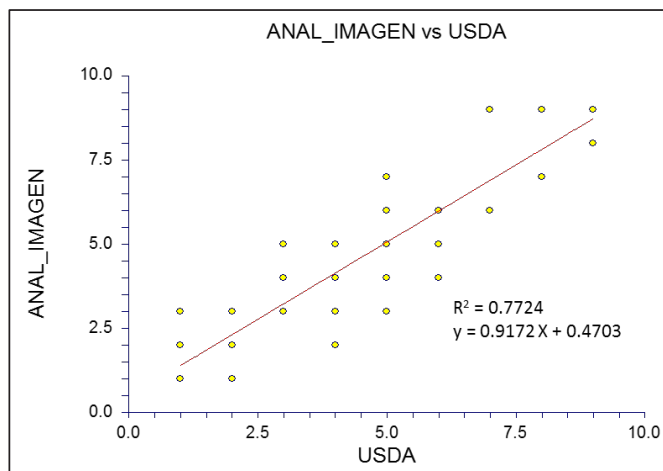


Figura 2. Análisis de regresión de marmoleo entre análisis de imagen y clasificación USDA.

Figure 2. Regression analysis of marbling determined by image analysis and the USDA classification system.

En la Figura 3 se muestra la gráfica de la ecuación de regresión conseguida entre el contenido de grasa de marmoleo obtenido por el método de extracción con solventes y la metodología de evaluación del USDA, obteniéndose un coeficiente muy alto ($R^2 = 0.96$). Este resultado está relacionado con la precisión de las evaluaciones realizadas por los expertos que llevaron a cabo esta metodología. El resultado del análisis de regresión obtenida entre el eMeater y el contenido de grasa fue de 0.74 (Figura 4), muy por debajo del obtenido con el método de la USDA. El resultado de regresión obtenido con el eMeater en lo referente a la determinación de marmoleo y contenido de grasa intramuscular, es similar a lo obtenido por Emerson et al. (2012), quienes obtuvieron una regresión positiva de 0.72 y por Moore et al. (2010) y Dow et al. (2011). Esta relación obedece a la tendencia lineal que se presenta entre las diferentes categorías de marmoleo y su contenido de grasa intramuscular. Lo anterior confirma que la precisión del equipo eMeater aumenta al incrementar la categoría de marmoleo, y por consiguiente también se incre-

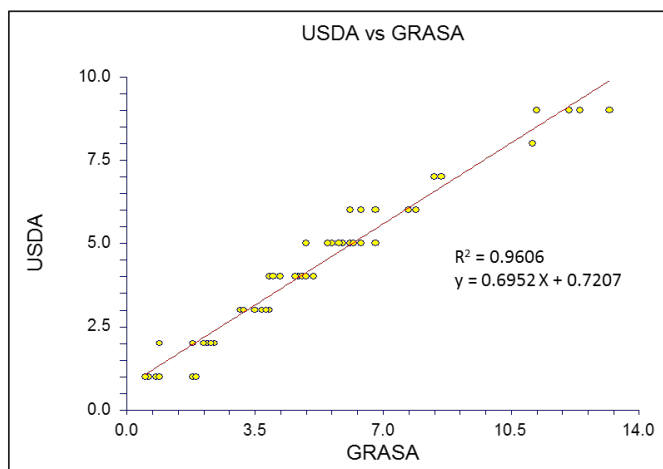


Figura 3. Análisis de regresión de la grasa intramuscular determinada por el método de extracción con solventes y la clasificación USDA.

Figure 3. Regression analysis of intramuscular fat content determined by the solvent extraction method and the USDA classification system.

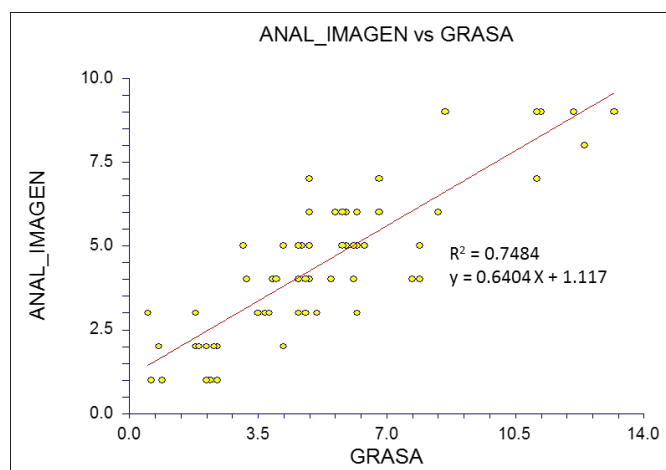


Figura 4. Análisis de regresión de la grasa intramuscular determinada por el método químico y el análisis de imagen.

Figure 4. Regression analysis of intramuscular fat content determined by the solvent extraction method and image analysis.

menta el contenido total de grasa intramuscular.

Con las metodologías utilizadas para medir el marmoleo se realizó un análisis multivariado. En la Figura 5 se representan las tres metodologías utilizadas en un espacio de dos dimensiones. En el eje de abscisas el Factor 1 explica el 57% de la variación total del modelo; este factor está compuesto por variables relacionadas positivamente con grasa, el analizador de imágenes y la evaluación de la USDA, y negativamente por la categoría de las canales. En el eje de ordenadas, el Factor 2 explica el 30% de la variación total del modelo, donde el factor positivo es el peso de las canales, y el negativo las categorías. Este análisis explica que es importante observar la variabilidad encontrada en el marmoleo, lo cual puede deberse al tiempo de engorda, al tipo de alimentación y a la genética utilizada en la producción del ganado (Barros et al., 2003).

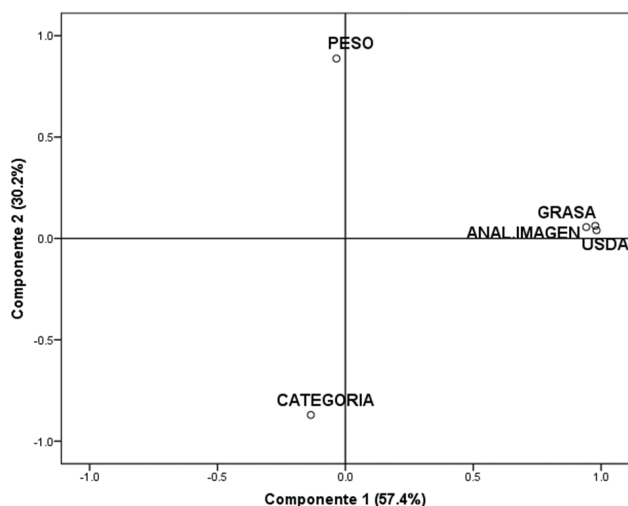


Figura 5. Análisis de componentes principales de la grasa intramuscular determinada por el método químico y los métodos de clasificación utilizados.

Figure 5. Principal component analysis of intramuscular fat content determined by the solvent extraction method and the utilized classification systems.

CONCLUSIONES

El sistema de visión artificial eMeater desarrollado, permitió evaluar el marmoleo de las canales con un coeficiente de correlación de 0.87, ($p < 0.05$) con respecto a la clasificación de la USDA y de 0.86 ($p < 0.05$) con respecto al método químico de extracción de grasa. Para mejorar la precisión del eMeater se recomienda realizar nuevos estudios que incluyan nuevos instrumentos de captura de imágenes, o corregir el que se tiene. La información obtenida sugiere que esta metodología puede ser mejorada, pudiendo de esta manera ser útil para llevar a cabo la clasificación de canales y tratar de evitar el error humano, sobre todo si no se cuenta con personal calificado.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen de manera especial al Fondo de Innovación Tecnológica de la Secretaría de Economía-CONACYT por el apoyo financiero para la realización del proyecto con Clave ECO-2015-C01-260979, denominado "Entrenamiento y co-validación oficial de dispositivo Optoelectrónico para clasificación de carne".

REFERENCIAS

- AOAC. 2005. Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis of the AOAC. 18th. Ed. AOAC, Arlington, VA.
- Barros, F., DeSouza, N., Mtsushita, M., Prado, I., Nascimento, W. 2003. Evaluation of carcass characteristics and meat chemical composition of *Bos indicus* and *Bos indicus* X *Bos taurus* crossbreed steers finished in pasture systems. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 46(4): 609-616.
- Dow, D.L., Wiegand, B.R., Ellersieck, M.R. y Lorenzen, C.L. 2011. Prediction of fat percentage within marbling score on beef longissimus muscle using three different fat determination methods. *Journal of Animal Science*. 89:1173-1179.
- Emerson, M.R., Woerner, D.R., Belk, K.E. y Tatum, J.D. 2013. Effectiveness of USDA instrument-based marbling measurements for categorizing beef carcasses according to differences in longissimus muscle sensory attributes. *J. Anim. Sci*. 91:1024-1034.
- Irie, M. y Kohira, K. 2012. Simple Spot Method of Image Analysis for Evaluation of Highly Marbled Beef. *Asian Australasian Association of Animal Production Societies*. 25(4): 592-596.
- López-Vázquez R. y Casp-Vanaclocha, A. 2004. *Tecnología de mataderos*. Editorial Mundi Prensa, Madrid España. pp. 327.
- May, S.G., Dolezal, H.G., Gill, D.R., Ray, F.K. y Buchanan, D.S. 1992. Effects of days fed, carcass grade traits, and subcutaneous fat removal on postmortem muscle characteristics and beef palatability. *Journal of Animal Science*. 70:444-453.
- Moore, C.B., Bass, P.D., Green, M.D., Chapman, P.L., O'Connor, M.E., Yates, L.D., Scanga, J.A., Tatum, J.D., Smith, G.C. y Belk, K.E. 2010. Establishing an appropriate mode of comparison for measuring the performance of marbling score output from video image analysis beef carcass grading systems. *Journal of Animal Science*. 88:2464-2475.
- NCSS. Number Cruncher Statistical System software version 2007 (Kaysville, Utah, U.S.A.).

- NLSMB (National Livestock and Meat Board). 1989. Meat evaluation. Handbook, Chicago, Illinois. USA. P. 70.
- Norma Oficial Mexicana. *NMX-FF-078-2002*. Productos Pecuarios. Carne De Bovino en Canal- Clasificación. 2002.
- Platter, W.J., Tatum, J.D., Belk, K.E., Koontz, S.R., Chapman, P.L. y Smith, G.C. 2005. Effects of marbling and shear force on consumers' willingness to pay for beef strip loin steaks. *Journal of Animal Science*. 83:890-899.
- SAGARPA. 2004. Anuario Estadístico de la Producción Pecuaria de los Estados Unidos Mexicanos.
- Schutte, B.R., N. Biju, G.A. Kranzler and H.G. Dolezal. 1998. Color video image analysis for augmenting beef carcass grading. *Anim. Sci.Res. Report, Oklahoma University*. 965:32-36.
- Secretaría de Fomento Ganadero. 2004. Dirección General de Control y Servicios Ganaderos Clasificación de Carnes, especificaciones técnicas creadas en el acuerdo y reglamento de clasificación, certificación y acreditación de carne de bovino para el Estado de Sonora 2004.
- Swatland, H.J. 1995a. On-line evaluation of meat. USA: Technomic, Lancaster.
- Torrescano-Urrutia, G.R., Sánchez-Escalante, A., Vásquez Palma, M.G., Paz Pellat, R. y Pardo Guzmán, D.A. 2010. Caracterización de canales y carne de bovino de animales engordados en la zona centro de Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 1(2): 157-168.
- USDA. 2005. Procedures for Approval and Use of Vision Based Instrument Systems for Beef Carcass Yield Grade Measurement. Livestock, Poultry, and Seed Program, Agric. Marketing Ser.USDA, Washington, DC. <http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/getfile?dDocName=STELDEV3097863>
- USDA. United States Department of Agriculture. Official United States Standards for grades of Carcass Beef. Washington: Secretary of Agriculture under the Agricultural Marketing Act of 1946, 1997. 60 Stat. 1087; 7 U.S.C. 1621-1627.
- Van der Stuyft, E., Schofield, C.P., Randall, J.M., Wambacq, P., Goedseels, V. 1991a. Development and application of computer vision systems for use in livestock production. *Computers and Electronics in Agriculture*. 6(3): 243-265.
- Wilson, D.E., Rouse, G.H. y Greiner, S. 1999. Relationship between chemical percentage intramuscular fat and USDA marbling score. http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1000&context=beefreports_1998.
- Yang, X.J., Albrecht, E., Ender, K., Zhao, R.Q. y Wegner, J. 2006. Computer image analysis of intramuscular adipocytes and marbling in the longissimus muscle of cattle. *Journal of Animal Science*. 84:3251-3258.