

MODELOS PREDICTIVOS DE NIVELES DE MARMORIZACIÓN EN NOVILLOS MESTIZOS WAGYU GENERADOS POR ULTRASONOGRAFÍA Y TRATAMIENTO DE IMÁGENES

Predictive Models of Marbling Levels in Crossbred Wagyu Steers Generated by Ultrasound and Image Processing

Jorge Campos-Parra ^{1*}, Emiliano De Pedro-Sanz ², Daniela Iturriaga-Astorga ¹, Rita Astudillo-Neira ¹, Ivo Basso-Basso ³ y Juan Cabas-Monje ³

¹ Departamento de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Vicente Méndez 595, Chillán, Chile.

² Departamento de Producción Animal, ETSIAM, Universidad de Córdoba, Campus de Rabanales, Ctra. Nacional IV km 396, Córdoba, España. ³ Departamento de Ciencias, Gestión Empresarial, Facultad de Ciencias Empresariales,

Universidad del Bío-Bío, Avda. Andrés Bello s/n, Chillán, Chile. *jcamposp@udec.cl

RESUMEN

Una de las variables que incide en la calidad de la carne de bovino es el porcentaje de grasa de infiltración o marmoleo. Este atributo ayuda a proporcionar a la carne los principales rasgos de calidad que el consumidor demanda: terneza, sabor y jugosidad. La investigación tuvo por objetivo la construcción y obtención de modelos con un alto poder predictivo *in vivo* del grado de marmorización en bovinos utilizando variables ecosonográficas, peso vivo y edad. Los datos se obtuvieron de 80 novillos "Tipo Wagyu", de ellos 50 se utilizaron para generar los modelos, 20 para evaluar y realizar los ajustes de los modelos y los 10 restantes para la validación del modelo finalmente seleccionado. Se generaron cinco modelos de regresión lineal múltiple, bajo el procedimiento de stepwise (paso a paso) y minimizando el error cuadrático medio. Al compararlos no mostraron diferencias significativas en su capacidad predictiva, por lo que fue posible elegir uno de ellos, $BMS = 5,42 + 1,58NSC_G1$, utilizando el criterio de simplicidad. El puntaje predicho por el modelo se comparó con la calificación de los certificadores, sin encontrar diferencias significativas. Finalmente, el modelo seleccionado se validó mediante el procedimiento de Freese. Se concluye que mediante modelación matemática, ultrasonido y tratamiento de imágenes se pueden formular modelos que permiten predecir *in vivo* el porcentaje de grasa de infiltración de acuerdo con la escala japonesa Beef Marbling Standards (BMS).

Palabras clave: Marmoleo, bovinos tipo Wagyu, ultrasonografía, tratamiento de imágenes.

ABSTRACT

One of the parameters that affect the quality of bovine meat is the percentage of fatty infiltration or marbling. This component provides the main meat quality features that consumers demand: tenderness, flavor and juiciness. This research had as objective to develop models to measure the degree of marbling in live cattle. The data were obtained from 80 steers "Wagyu Type", 50 of them were used to generate the models, 20 to evaluate and make adjustments to the models and the remaining 10 for validation of the finally selected model. Five models of multiple linear regressions, under the stepwise procedure and minimizing the mean square error, were generated. When models were compared, they did not show statistically significant differences in their predictive ability, so it was possible to choose one of them, using the criterion of simplicity. The score predicted by the model was compared with the qualification of certifiers, with no statistically significant differences. Finally, in order to validate the selected model, the method presented by Freese was used. Thus, it is possible to conclude that using mathematical modeling, ultrasound, and image processing models can be formulated that allow to predict *in vivo* the percentage of fat infiltration according to the Japanese scale of Beef Marbling Standards (BMS).

Key words: Marbling, Wagyu cattle type, ultrasound, image processing.

INTRODUCCIÓN

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) ha establecido estándares o grados de calidad de los

animales para sacrificio y de la canal. Uno de ellos es la madurez fisiológica, un estimador de la edad del animal al momento de la faena, otro es el nivel de grasa infiltrada en el músculo (marmoleo). El grado de marmoleo ayuda a proporcionar a la carne los principales rasgos de calidad que el consumidor demanda: ternura, sabor y jugosidad (palatabilidad) [4]; aunque la relación entre marmoleo y palatabilidad no está claramente definida, el nivel de marmoleo es una característica importante en los mercados de comercialización, como el japonés y el coreano, la grasa intramuscular impacta también en la jugosidad y sabor, pues estimula la salivación dando la percepción de aumento de jugosidad [29]. Dentro de cada grupo de madurez, este marmoleo se mide en la canal observando su cantidad y distribución en el lomo (músculo *longissimus thoracis*) a nivel de la 12ª costilla [28]. A diferencia de muchos rasgos de importancia económica del ganado de carne, la medición del puntaje de marmoleo o porcentaje de grasa infiltrada no puede ser evaluado organolépticamente en el ganado vivo.

La técnica más utilizada para la determinación del marmoleo en bovinos (*Bos taurus*) es la evaluación visual de las canales refrigeradas. Esta técnica se basa en la comparación que realizan los evaluadores entre los estándares de marmoleo esperado por raza y mercado de destino [5, 31], teniendo implícita la variabilidad por evaluador. Para superar esta principal dificultad de la evaluación visual del marmoleo en las canales, la técnica ha sido complementada con la captura digital de imágenes de las secciones transversales del músculo *longissimus*, para su posterior análisis computacional a través del cual por concentración de píxeles se determina con mayor precisión las áreas de marmoleo, el número de vetas de marmoleo entre otros rasgos de calidad [22].

La determinación del contenido de grasa a través de análisis químicos de la carne, como indicador indirecto del marmoleo ha sido complementado con la captura de imágenes digitales desde imágenes de video a color de la canal bovina, permitiendo así medir los flecos o vetas de marmoleo, el área que ocupan y otras características [1, 21]. Esta técnica ha avanzado hasta el desarrollo de métodos de evaluación y calibración del proceso de análisis computacional de imágenes para entregar mayor precisión [20]. Una variante de esta técnica, es el análisis computacional de imágenes tomadas por cámara digital desde muestras de músculo del lomo a nivel de la 12ª costilla fijadas con formaldehído. Esta variante de la técnica realiza un análisis del grado de color observado en píxeles, determinando así el número de vetas de marmoleo, su área y longitud [36].

Se han desarrollado algunas técnicas predictivas *in vivo* del marmoleo, como el análisis del efecto de la alimentación [14, 27], modelos predictivos incluyendo variables *post mortem* como peso de canal caliente [26], o la interpretación de imágenes [6, 35] y en la misma línea de la presente investigación, el procesamiento computacional de imágenes obtenidas por medio de ultrasonografía [13, 30].

Diversos estudios han demostrado que la determinación *in vivo* del rendimiento carnicero permite relacionar los datos *ante mortem* con el tamaño y calidad carnicera de los cortes de alto valor [30]. Por ello contar con una herramienta que visualiza estructuras internas en el animal vivo permite realizar una evaluación de forma objetiva, documentada y reproducible en el tiempo [6].

En este ámbito, la ecografía o ultrasonografía es una herramienta de evaluación de la composición carnicera de los animales vivos [24]. Las ondas ultrasónicas emitidas por el ecógrafo son producidas por cristales semiconductores los cuales producen el efecto piezoeléctrico [11]. Estas ondas acústicas se propagan a diferentes velocidades a través de los tejidos biológicos dependiendo de sus densidades, reflejando una imagen en escala de grises, la cual es procesada por un sistema computacional integrado en el ecógrafo [19]. Sin embargo, estas evaluaciones pueden estar condicionadas a algún nivel de subjetividad del técnico que analiza las imágenes y con ello disminuir su precisión y repetitividad.

El objetivo de esta investigación fue formular y validar modelos que permitan medir *in vivo* el grado de marmoleo en bovinos a través del uso de ultrasonografía y el tratamiento de imágenes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La muestra consideró un total de 300 machos castrados (novillos) producto de la cruce F1 Wagyu x Hereford y Wagyu x Angus ("Tipo Wagyu"), en manejo estabulado, con alimentación en base a ensilaje de maíz (*Zea mays*) y concentrados.

Las mediciones *ante mortem* de estos bovinos se realizaron en la Agrícola Mollendo, camino a Luanco km 2, Los Ángeles, Región del Biobío, Chile. De los 300 vacunos evaluados *in vivo*, 80 fueron sacrificados en el Frigorífico O'Higgins S.A., camino a Melipilla 8139, Comuna de Cerrillos, Región Metropolitana Chile; realizando así las evaluaciones *post mortem* después de la faena. De los 80 novillos sacrificados, 50 se utilizaron para generar los modelos, 20 para evaluar y realizar los ajustes de los modelos y los 10 restantes para la validación del modelo finalmente seleccionado. La formación de los grupos se realizó al azar, introduciendo el número del Dispositivo de Identificación Individual Oficial (DIIO) de cada animal en una bolsa para así realizar la formación de los grupos sin reemplazo.

Evaluaciones *ante mortem*. La captura de imágenes ecográficas de los 300 animales se realizó de manera seriada en la medida que faltaba de 7 a 21 días para alcanzar el criterio de faena (peso, edad y conformación). Se utilizó un ecógrafo marca Mindray, modelo DP-6600 VET, transductor 75L60EA (China), en el espacio intercostal entre la 12ª y 13ª costilla [28] de los bovinos, a una profundidad de 9,7 cm, con una frecuencia de 7,5 MHz, utilizándose gel ecográfico y un

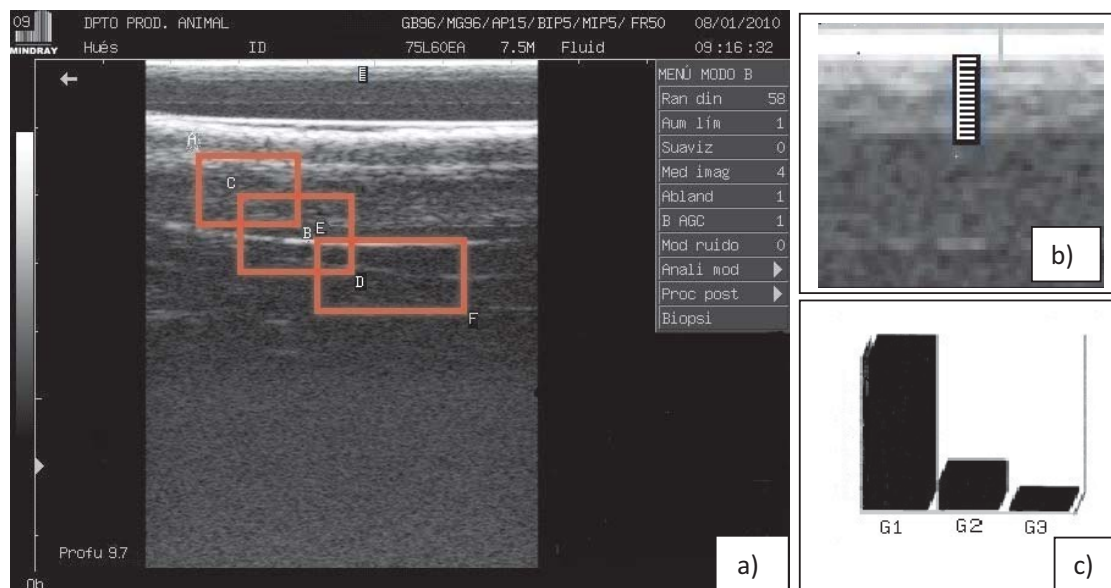
Niveles de marmorización en novillos mestizos wagyu generados por ultrasonografía y tratamiento de imágenes / Campos-Parra, J. y col. ___

“stand off” o acoplamiento para obtención óptima de imágenes [12]. Se tomaron tres imágenes por animal a 5 cm de la espina dorsal hacia la izquierda, de manera de correlacionar los datos con la canal izquierda. Junto con la captura de las imágenes se registró el pesaje de los animales en kg (PV) para lo cual se utilizó una báscula (marca Mayov, Chile) provista de una puerta automática.

Análisis de imágenes. Para el análisis de las imágenes se utilizó el software Idrisi Selva [9], que entre otras funciones permite transformar las imágenes de datos alfanuméricos a numéricos. De cada una de las imágenes (900) se tomaron tres submuestras (2700 en total) correspondientes a las coordenadas M1 (A(200,100), B(280,145)); M2 (C(250,120), D(330,160)); y M3 (E(300,150), F(380,195)) (FIG 1, parte a). Se obtuvieron matrices de datos numéricos de cada sub-muestra, agrupados en tres clases, de acuerdo con la frecuencia relativa de cada pixel, asignándoles los nombres de G1, G2, y G3 (FIG 1 parte c). Sobre la misma imagen se midió la grasa de cobertura en centímetros (FIG 1 parte a y parte b).

Evaluaciones post mortem. La evaluación de las características de la canal, en cuanto al marmoleo, fueron realizadas por evaluadores externos pertenecientes a CERTILAB [7], evaluando el marmoleo, a nivel del ojo del lomo luego de la separación de los cuartos (corte transversal entre la 12^a y 13^a costilla) y antes del desposte, por comparación visual con la escala japonesa Beef Marbling Standards (BMS), que describe el veteado de grasa intramuscular en una escala de 1 a 12, en donde el número menor corresponde a una carne magra y el número mayor corresponde a una alta infiltración de grasa [17].

Construcción de modelos matemáticos. Se contó con una base inicial de 720 sub-muestras, obtenidas *in vivo*, pertenecientes a los 80 vacunos sacrificados. Los datos correspondientes a 50 de ellos se utilizaron para la construcción de los modelos, esto se llevó a cabo por medio de regresión lineal múltiple, a través del procedimiento de stepwise [32], donde la variable predicha es el BMS o grado de marmoleo estimado por los evaluadores y las variables predictivas correspondieron a los tres grupos de pixeles obtenidos (G1, G2 y G3), más la grasa se cobertura (GC) en centímetros, el peso vivo (PV) en kilogramos y el tiempo de vida (TV) de los bovinos en meses. Las variables GC, G1, G2 y G3 fueron transformadas mediante la aplicación Escores Normales (NSC) [2]. La transformación se utilizó para corregir problemas de heterosedasticidad. De los modelos generados, se seleccionaron cinco modelos óptimos, utilizando como criterio de selección a aquellos que tuvieron el menor Cuadrado Medio del Error (CME) [32]. Para estudiar diferencias en la capacidad predictiva de cada uno de los cinco modelos desarrollados, se utilizaron los datos transformados obtenidos de 20 novillos, evaluando los modelos y comparando los grados de BMS obtenidos mediante análisis de varianza no paramétrico. Para ello se utilizó el modelo propuesto por Kruskal y Wallis [16] con un 95% de confianza. Luego de seleccionar el mejor modelo, se evaluaron los datos de los 10 vacunos restantes y se compararon con los puntajes asignados por los certificadores, utilizando para ello la prueba no paramétrica de Wilcoxon con un 95% de confianza [34]. Para la validación del modelo se utilizó la prueba de exactitud de Freese [10] con un error máximo de predicción del 15% [3, 10]. Los análisis estadísticos se realizaron por medio del software Infostat [8].



a) Imagen de ecógrafo indicando espesor de grasa dorsal y las coordenadas de las muestras tomadas por imagen con coordenadas M1 (A(200,100); B(280,145)); M2 (C(250,120); D(330,160)); y M3 (E(300,150); F(380,195)). b) Imagen ampliada indicando la medición de espesor de grasa dorsal. c) Imagen de Software Idrisi 32 v15.0 indicando la frecuencia de grupo de pixeles.

FIGURA 1. EJEMPLOS DE TIPOS DE IMÁGENES CAPTURADAS CON ECÓGRAFO Y PROCESADAS A TRAVÉS DE SOFTWARE IDRISI.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la TABLA I se muestra la calificación en BMS y el grado de calidad entregada por los certificadores de CERTILAB [7], en donde se observa que el 72,5% de los bovinos faenados (58) lograron la categoría que exige el sistema de comercialización, en donde se establece que como mínimo el grado de calidad 4 y un BMS 5 para cada animal. La mayor concentración de animales estuvo entre los valores 6 y 7 de BMS, que equivalen a calidad grado 4, mientras que el grado de calidad 5 (el más alto) sólo fue obtenido por el 20% de los vacunos correspondiendo a un BMS 8 y 9 (TABLA I). Se observa que ningún animal alcanzó calificaciones sobre 9, esto podría atribuirse a que se trabajó con animales mestizos (bovinos F1 Wagyu x Hereford y Wagyu x Angus) (TABLA I).

En la TABLA II se muestran los cinco mejores modelos generados con la información de 50 animales (análisis de regresión múltiple). Con los datos de los siguientes 20 animales faenados se construyó una matriz correspondiente a la evaluación de la información de este grupo de vacunos en cada modelo, se generó una matriz en donde aparecen los cinco modelos (como tratamientos) con 20 repeticiones. La información generada se sometió a análisis de varianza no paramétrico [16], no existiendo diferencias estadísticas significativas entre ellos ($P > 0,05$), lo que permitió determinar que se puede utilizar cualquiera de los modelos para la evaluación. Como entre los cinco modelos no se encontraron diferencias significativas se adoptó el criterio de simplicidad para escoger y validar la predicción de BMS, utilizando el modelo 5: $BMS = 5,42 + 1,58NSC_G1$. Este modelo se evaluó con los datos de los restantes 10 bovinos faenados, sin detectar diferencias estadísticas significativas según prueba de Wilcoxon [34] ($P > 0,05$) entre la calificación de BMS establecida por los certificadores durante la faena y los valores predichos por el modelo (FIG. 2). Al ser sometido el modelo 5 al procedimiento de validación propuesto por Freese [10] con un máximo de error admisible en la predicción de un 15%, se obtiene un valor de 16,14 que es menor al valor tabular de 16,92 que se obtiene de la distribución χ^2 con 9 grados de libertad y un 95% de significancia. El resultado anterior muestra que el modelo es capaz de predecir el grado de marmoleo o BMS con un error límite de un 15%, entre los valores pronosticados por el modelo y los reales, en el 95% de los casos. Además, relaciona directamente al grupo G1 como mayor predictor de BMS en el animal (FIG. 2). El BMS predicho por el modelo sobreestima el BMS del animal asignado por los certificadores debido posiblemente a que el modelo entrega resultados en una escala continua, pues es una función de variable real, en cambio el certificador evalúa en una escala discreta. Situación opuesta fue la reportada por Wertz y col. [33] quienes tomaron imágenes de ultrasonografía en vaquillas Wagyu y Angus, procesando las imágenes computacionalmente y proponiendo ecuaciones predictivas que subestimaron los valores de marmoleo registrados en faena y por extracción lipídica. Wilson y col. [35] propuso que los sesgos en la predicción de grasa intramuscular deberían originarse por limita-

TABLA I
PORCENTAJE DE ANIMALES DENTRO DE LAS CATEGORIAS DE MARMOLEO BMS EVALUADAS EN FRIGORÍFICO O'HIGGINS S.A. (FRIOSA) (N=80)

BMS	Grado de calidad	N° animales	% animales	% por rango*
1	1	0	0,00%	27,5%
2	2	0	0,00%	
3	3	3	1,82%	
4	3	5	5,45%	
5	4	14	18,18%	
6	4	20	23,64%	72,5%
7	4	22	29,09%	
8	5	9	12,73%	
9	5	7	9,09%	
10	5	0	0,00%	
11	5	0	0,00%	
12	5	0	0,00%	

* La separación por rango, se refiere a las canales que logran la calificación de calidad para su comercialización. BMS: Beef Marbling standards [17].

TABLA II
MODELOS DE REGRESIÓN PARA PREDECIR EL GRADO DE MARMOLEO BMS EN BOVINOS MESTIZOS (bovinos F1 Wagyu x Hereford y Wagyu x Angus)

Modelo	Ecuación	CME
1	$BMS = 10,23 - 3,68NSC_G1 - 6,4NSC_G2 + 9,12NSC_G3 + 0,0004PV$	1,92
2	$BMS = 10,64 - 3,69NSC_G1 - 6,49NSC_G2 + 9,29NSC_G3$	1,89
3	$BMS = 5,06 + 1,87NSC_G1 + 4,90NSC_G3$	1,91
4	$BMS = 6,99 - 2,38NSC_G2 + 6,69NSC_G3$	1,88
5	$BMS = 5,42 + 1,58NSC_G1$	1,93

BMS: beef marbling standards [17]. PV: peso vivo, CME: cuadrado medio del error. NSC_G1: EscORES Normales de pixeles del grupo G1. NSC_G2: EscORES Normales de pixeles del grupo G2. NSC_G3: EscORES Normales de pixeles del grupo G3.

ciones de las ecuaciones de predicción, variaciones en los equipos y errores de los técnicos. Hassen y col. [13] suman el número de imágenes tomadas por animal en cada periodo de evaluación a las causas de sesgo en la predicción, sin mencionar cual sería el número óptimo. En el estudio actual se tomaron tres imágenes por animal, que fueron procesadas en conjunto para dar origen a los datos utilizados para predecir el grado de marmoleo, minimizando así la causa de sesgo propuesta por Hassen y col. [13] En tanto, Perkins y col. [23] definieron algunas limitaciones para la aplicación de la técnica de la ultrasonografía en la evaluación de canales. Entre estas limitantes están: i) las diferencias entre animales, ii) cambios en los teji-

Niveles de marmorización en novillos mestizos wagyu generados por ultrasonografía y tratamiento de imágenes / Campos-Parra, J. y col. ___

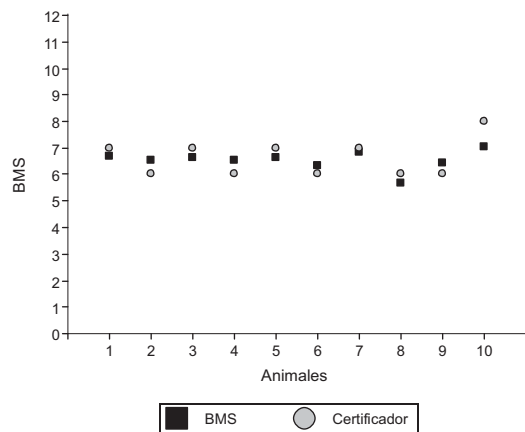


FIGURA 2. COMPARACIÓN ENTRE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DEL GRADO DE MARMOLEO BMS *IN VIVO* DEL MODELO CINCO Y EL GRADO DE MARMOLEO BMS [17] DETERMINADO POR LOS CERTIFICADORES EN LAS CANALES.

dos durante la faena, iii) interpretación de los técnicos y iv) manipulación de los ecógrafos. En el caso del estudio desarrollado en Chile, se ha limitado la participación de los técnicos en el análisis del grado de infiltración de la grasa y sólo se recurrió a su apoyo para la correcta localización del espacio intercostal entre la 12^a y 13^a costilla y uso del transductor.

Por otro lado, Kahi e Hirooka [15] utilizaron ultrasonografía para determinar las características de la canal *in vivo* de ganado Wagyu para evaluar el efecto de esquemas de cruzamientos de razas según rasgos de la canal y/o reproductivos. Estos autores consideraron la herramienta de ultrasonografía como óptima para la obtención de datos *in vivo* por la alta correlación que, tiene con los rasgos de la canal en dos estudios anteriores [18, 25]. Resulta relevante mencionar que ambos autores utilizaron esta metodología al mismo costo de la toma de datos en la faena de los animales (*post mortem*), lo cual constituye la única forma de obtención de datos de rasgos de la canal en Japón.

Por último, se han evaluado otras técnicas mediante imágenes para la medición de marmoleo como la descrita por Yang y col. [36] que consiste en la toma de muestras de tejido desde el músculo a nivel de la 12^a costilla, que son posteriormente fijadas en formaldehído para luego ser teñidas y obtener contraste entre la grasa, el tejido conectivo y el músculo. La información es analizada computacionalmente por diferencia de colores y permite así determinar las vetas de marmoleo, las proporciones del área de marmoleo y el largo de las vetas de marmoleo. Esta técnica permitió desarrollar un estudio más preciso sobre el mecanismo mediante el cual se desarrolla el marmoleo en el músculo, no obstante, no permite una evaluación o predicción del marmoleo en animales vivos, pero deja abierta la brecha de estudio al señalar que dentro de la misma sección de músculo hay diferencias entre los tamaños de las vetas de marmoleo y sus localizaciones.

CONCLUSIONES

El desarrollo del trabajo permitió concluir que mediante modelación matemática, ultrasonido y tratamiento computacional de imágenes se puede estimar *in vivo*, con un alto poder predictivo, el grado de marmoleo en bovinos.

AGRADECIMIENTO

Se agradece el financiamiento del proyecto "Modelamiento de la calidad de carne bovina PampaVerde® utilizando ultrasonido". Dirección de Investigación Universidad de Concepción (DIUC N°210.121.013-1.0).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALBRECHT, E.; TEUSCHER, F.; ENDER, K.; WEGNER, J. Growth-and breed-related changes of marbling characteristics in cattle. **J. Anim. Sci.** 84: 1067-1075. 2006.
- [2] BALZARINI, M. G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; CASANOVES, F.; DI RIENZO, J. A.; ROBLEDO, C.; W. Análisis de Regresión Lineal. **Infostat. Manual del Usuario**, Córdoba, Argentina, Editorial Brujas. Pp 122-141. 2008.
- [3] BARRALES, L.; IVÁN, P.; PEDRO DE LA R., B. Validación de Modelos: Un enfoque aplicado. **Agric. Téc.** (Chile). 64(1): 66-73. 2004.
- [4] BLUMER, T. N. Relationship of marbling to the palatability of beef. **J. Anim. Sci.** 22(3): 771-778. 1963.
- [5] BRACKEBUSCH, S. A.; CARR, T. R.; MCKEINTH, F. K.; DUTTON, D. M.; MCLAREN, D. G. Relationship between marbling group and major muscle contribution to beef carcass. **J. Anim. Sci.** 69: 625-630. 1991.
- [6] CARLEOS, C.; VILLA, A.; CAÑÓN, J.; BARO DE LA F. J. Uso de ultrasonidos para la predicción del valor de la canal en terneros de raza asturiana de los valles. **Archiv. Zoot.** 56 (Sup. 1): 687-692. 2007.
- [7] CERTILAB CHILE E. I. R. L. Organismo de certificación de productos según Nch2411.Of2003 en el área pecuaria. Certificación Norma ISO 9001:2008 Nch9001.Of2009 Servicio de inspección y certificación de calidad de productos agropecuarios para el consumo humano. 2011.
- [8] DI RIENZO, J. A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M. G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C. W. InfoStat. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 2013.
- [9] EASTAM, J. R.; Software Idrisi Selva (Worcester, MA: Clark University). 2012.

- [10] FREESE, F. Testing Accuracy. **Forest Sci.** V (6): 139-145. 1960.
- [11] GIRALDO, C. Principios básicos de ultrasonografía veterinaria. **Rev. MVZ Córdoba.** 8(2): 303-309. 2003.
- [12] GUITOU, H. R.; MONTI, A.; SUTZ, G.; BALUK, I. Interpretación y uso correcto de las diferencias esperadas entre progenie (DEP' s) como herramienta de selección para la calidad de carne. Segunda parte. **Rev. Colomb. Cien. Pec.** 20(3): 363-376. 2007.
- [13] HASSEN, A.; WILSON, D. E.; ROUSE, G. H. Evaluation of carcass, live, and real-time ultrasound measures in feedlot cattle: I. Assessment of sex and breed effects. **J. Anim. Sci.** 77: 273 – 282. 1999.
- [14] HOQUE, M. A.; OIKAWA, T. Comparison and relation among different estimates of residual feed intake for Japanese Black (Wagyu) Bulls. **Anim Sci J.** 75: 201–205. 2004.
- [15] KAHI, A. K.; HIROOKA, H. Genetic and evaluation of Japanese Black (Wagyu) cattle breeding schemes. **J. Anim. Sci.** 83: 2021 – 2032. 2005.
- [16] KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of ranks on one-criterion variance analysis. **J. Amer. Statist. Asso.** 47: 583-621. 1952.
- [17] JAPAN MEAT GRADING ASSOCIATION (JMGA). New Beef Grading Standards. JMGA, Tokyo. Pp 9-10.1988.
- [18] KEMP, D. J.; HERRING, W. O.; KAISER, C. J. Genetic & Environmental parameters for steer ultrasound and carcass traits. **J. Anim. Sci.** 80:1489–1496. 2002
- [19] LÓPEZ, P. M. G; RUBIO, L. M. S. Tecnologías para la evaluación objetiva de las canales de animales de abasto. **Vet. Méx.** 29(3): 279-289. 1998
- [20] 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.; BELK, K. E. Establishing an appropriate mode of comparison for measuring the performance of marbling score output from video imagen analysis beef carcass grading systems. **J. Anim. Sci.** 88: 2464-2475. 2010.
- [21] MOODY, W. B.; CASSENS, R. G. A quantitative and morphological study of bovine longissimus fat cells. **J. Food Sci.** 33:47–55. 1968
- [22] NAKAHASHI, Y.; MARUYAMA, S.; EKI, S.; HIDAKA, S.; KUCHIDA, K. Relationships between monounsaturated fatty acids of marbling flecks and image analysis traits in longissimus muscle for Japanese Black steers. **J. Anim. Sci.** 86: 3551-3556. 2008.
- [23] PERKINS, T. L.; GREEN, R. D.; HAMLIN, K. E.; SHEPARD, H. H.; MILLER, M. F. Ultrasonic prediction of carcass merit in beef cattle: evaluation of technician effects on ultrasonic estimates of carcass fat thickness and longissimus muscle area. **J. Anim. Sci.** 70: 2758 – 2765. 1992.
- [24] POLÁK, P.; SAKOWSKI, T.; BLANCO, R. E. N.; HUBA, J.; KRUPA, E.; TOMKA, J.; PEŠKOVIËOVA, D.; ORAVCOVA, M.; STRAPAK, P. Use of computer image analysis for in vivo estimates of the carcass quality of bulls. **Czech J. Anim. Sci.** 52(12): 430-436. 2007.
- [25] REVERTER, A.; JOHNSTON, D. J.; GRASER, H. U.; WOLCOTT, M. L.; UPTON, W. H. Genetic analyses of live animal ultrasound and abattoir carcass traits in Australian Angus and Hereford cattle. **J. Anim. Sci.** 78:1786-1795. 2000.
- [26] SCHINDLER, V.; PRUZZO, L.; OLIVERA, M. L.; GRIGERA, J. J.; NÁO, N. Predicción de Rendimiento de Cortes Minorista de Reses bovinas en Argentina. **Archiv. Latinoam. Prod. Anim.** 12(2): 105-111 2004.
- [27] SUGIMOTO, M.; KUZUOKA, S.; YAYOTA, C.; SATO, Y. The effects of grazing and supplemental protein concentrations during the grazing period on subsequent finishing performance and carcass quality in Japanese Black cattle steers. **Anim. Sci. J.** 75: 29–35. 2004.
- [28] TATUM, D. Beef Grading. Department of Animal Science, Colorado State University Ft. Collins, Colorado. National Cattlemen's Beef Association. 2007.
- [29] THOMPSON, J. M. The effects of marbling on flavor and juiciness scores of cooked beef, after adjusting to a constant tenderness. **Aust. J. Exp. Agr.** 44: 645-652. 2004.
- [30] TOSHIHIRO, N.; KATAOKA, Y.; HOSHI, K.; MAEDA, I.; SAITO, K. Estimation of beef marbling in the Longissimus muscle with computer image analysis ultrasonic pictures of the Iliocostalis muscle area. **Anim. Sci. J.** 85: 247-253. 2014.
- [31] VIESELMAYER, B. A.; RASBY, R. J.; GWARTNEY, B. L.; CALKINS, C. R.; STOCK, R. A.; GOSEY, J. A. Use of expected progeny differences for marbling in beef: I. Production traits. **J. Anim. Sci.** 74: 1009-1013. 1996
- [32] WEBSTER, A. Regresión Lineal Múltiple. In: **Estadística Aplicada a los Negocios y la Economía.** 3era Ed. Ed Irwin Mc Graw-Hill. Santa Fe de Bogotá, Colombia. Pp 374-409. 2000.
- [33] WERTZ, A. E.; BERGER, L. L.; WALKER, P. M.; FAULKNER, D. B.; MCKEITH, F. K.; RODRIGUEZ-ZAS, S. L. Early-weaning and the post-weaning nutritional management affect feedlot performance, carcass merit, and the relationship of 12th-rib fat, marbling score, and feed efficiency among Angus and Wagyu heifers. **J. Anim. Sci.** 80: 28 – 37 2002.

Niveles de marmorización en novillos mestizos wagyu generados por ultrasonografía y tratamiento de imágenes / Campos-Parra, J. y col. ___

- [34] WILCOXON, F. Individual Comparison by Ranking Methods. **Biometrics**. 1: 80-83. 1945.
- [35] WILSON, D. E.; ROUSE, G. H.; GRASER, G. H.; AMIN, V. Prediction of Carcass Traits Using Live Animal Ultrasound. Animal Science Research Reports. Beef Research Report, 1998. Paper 2. On line: http://lib.dr.iastate.edu/beefreports_01/01/1998.
- [36] YANG, X. J.; ALBRECH, E.; ENDER, K.; ZHAO, R.; WEGNER, Y. Computer image analysis of intramuscular adipocytes and marbling in the longissimus muscle of cattle. **J. Anim. Sci.** 84: 3251 – 3258. 2006.