
Evaluación del efecto de algunas características inherentes al animal sobre la terneza de la carne bovina

Testing the Effects of the Animals' Characteristics over the Tenderness of the Bovine Beef

Ricardo Camacho^a
recamachoc@unal.edu.co

Resumen

Se evaluó la diferencia de la terneza entre carnes bovinas en edades diferentes dentro de los rangos normales a las cuales son llevadas estas a sacrificio, siendo calculados sus índices de deposición grasa según el sexo debido a las diferencias halladas de dicho rasgo entre machos y hembras, de igual forma que razas *taurinas* e *índicas*. Para determinar la concentración de grasa en cada una de las muestras y evaluación de terneza se utilizó el texturometro de Warner Bratzler. Los datos obtenidos fueron analizados a través de un modelo de regresión lineal múltiple. El análisis de los resultados indica que en el ganado bovino, las diferencias de terneza por aumento de deposición de grasa también son llevadas a cabo a edades superiores, a pesar de que la relación es inversa. El porcentaje de grasa incluida dentro de cada pieza muscular está directamente relacionado con mayor terneza al igual que menores edades al sacrificio producen resistencias inferiores al corte.

Palabras clave: terneza, extracto etéreo, Warner Bratzler, resistencia al corte.

Abstract

I evaluated the difference of the tenderness between bovine meats in different ages within the normal ranks to which these animals are taken to sacrifice, being calculated its indices of greasy deposition according to sex due to the differences of this characteristic found between males and females, similarly with bullfighting and indicus races. In order to determine the fat concentration in each one of the samples and evaluation of tenderness a Warner Bratzler texturometer was used. The collected data were analyzed through a multiple linear regression model. The analysis of the results indicates that in the bovine cattle, the differences of terneza

^aEstudiante de Maestría en Sanidad y Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia.

by increase of fat deposition are also carried out to superior ages, although the relation is inverse. The percentage of fat including within each muscular piece is directly related to greater tenderness. Minors sacrifice ages produce minors resistance to the cut.

Key words: tenderness, abstracted ethereal, Warner Bratzler, resistance to the cut.

1. Introducción

Entre las múltiples condiciones que producen variación en la calidad de la canal aparte del sistema de alimentación, se observan las diferencias debidas a la raza, edad, sexo y estado sexual, madurez fisiológica, sistema de manejo y de producción, faenado, entre otras. Así, por ejemplo, puede suceder que entre dos bovinos pertenecientes a la misma raza y de edad similar pero sexo diferente, el macho brinda una carne más magra, debido a que las hembras poseen una mayor capacidad de deposición grasa, pero a su vez poseen menor desarrollo de la masa muscular debido a que gran parte de los nutrientes de la dieta están siendo utilizados en el almacenamiento energético lipídico. Por tal motivo, la carne proveniente de las hembras posee una mayor terneza y capacidad de retención de agua que la de los machos al ser comparada a una misma edad. El componente adiposo de la canal se encuentra dividido en interna, intermuscular, intramuscular y subcutáneo. La conformación grasa con la cual cuenta la canal produce una de las características de mayor, valor debido no sólo a que esta actúa como una barrera de protección contra microorganismos, que pueden generar descomposición de las piezas conllevando a una maduración incompleta, sino también a que aumentan la capacidad de retención de agua. Además también protegen la *sarcomera* del acortamiento por frío, lo cual se traduce en una menor terneza de la carne, ya que el decrecimiento de la temperatura se hace a una velocidad mayor.

La dieta con altos niveles energéticos y protéicos tiende a generar canales con mayores rendimientos, los cuales son directamente proporcionales al porcentaje de distribución de grasa corporal; es así como animales de raza, edad y sexo similares, alimentados bajo este tipo de dietas, tienen una mayor velocidad de crecimiento, canales mas pesadas con mayor veteado y marmóreo y por ende mas tiernas, al ser comparadas con dietas de bajo contenido energético.

Desde otro punto de vista, también deben ser consideradas las diferencias que existen dentro de una raza, teniendo en cuenta el componente de terneza y su heredabilidad. Ya se ha determinado que un 25 % de la *Sangre Bos Indicus* genera variación en los cortes, los cuales poseen mayor dureza que los de *Bos Taurus*, fenómeno que se ha relacionado con el aumento de la actividad del componente *calpastatina*, el cual ha sido medido desde las 24 horas hasta los 14 días *postmortem*.

En cuanto a la edad cronológica, el componente miofibrilar no es afectado antes de los 30 meses, a pesar de que el tejido conectivo sí varía el grado de terneza debido

a que al aumentar la edad del animal se incrementan los puentes intermoleculares del tropocolágeno de manera tal que la resistencia al corte es directamente proporcional a la cantidad de matriz extracelular del músculo, la cual también varía entre los diferentes grupos musculares y piezas de corte. La grasa periférica no representa ninguna variación en la dureza de la carne pero sí posee cambios físicos visuales donde aumenta sus concentraciones de *caroteno* y se va tornando amarilla. También los factores que determinan el color de las fibras están dados por la edad, donde el animal joven posee una musculatura más pálida que la de un animal adulto, no sólo por su fuente de alimentación sino también por la actividad muscular y niveles de *mioglobina*, los cuales aumentan de forma proporcional con la edad.

Otra característica es el incremento del diámetro de las fibras musculares a medida que el animal va envejeciendo; después de los 30 meses de edad, lo que se traduce en una mayor resistencia al corte, variando así el grado de terneza de la carne inclusive entre piezas musculares.

Entre los métodos mecánicos para evaluar terneza cuantitativamente, el instrumento usado más popularmente ha sido el texturómetro o Warner-Bratzler (WB). Este dispositivo determina la fuerza máxima necesaria para cortar a través de una muestra de carne perpendicular a las fibras musculares en unidades de fuerza Kg/pg².

2. Métodos y materiales

Este trabajo fue desarrollado en su etapa inicial, durante el período de adaptación de las unidades experimentales en la Hacienda Rinconsanto, localizada en el municipio de Aguachica, Cesar (Colombia). La temperatura promedio es de 28°C, con una humedad relativa del 80%. Todos los animales eran provenientes del mismo sistema de producción y entraron al tiempo a formar parte de la prueba con la misma dieta de acabado y fueron sometidos bajo los mismos parámetros de manejo y condiciones ambientales, durante el periodo de 6 meses de pre-sacrificio.

Los treinta animales se marcaron por edad y se agruparon en un mismo lote para homogeneizar su tratamiento. También se efectuó la respectiva correlación con el número de piezas dentales. Durante este periodo fueron sometidos a un sistema rotacional de potreros cada 30 días con forraje de la especie *Angleton Dichanthium Aristatum*, con un periodo de descanso de 45 días.

Posteriormente, los animales fueron transportados al frigorífico Vijagual de la ciudad de Bucaramanga, para ser sacrificados bajo las técnicas estandarizadas de dicha planta. Se realizó la toma de las muestras para ser analizadas, en este caso particular del músculo *longissimus dorsi*, cada una de media pulgada (1,27cm) de diámetro, las cuales fueron identificadas y almacenadas durante 14 días a 4°C, tiempo y temperatura necesarios para transformar el músculo en carne y que se lleve a cabo el mayor porcentaje del proceso de ternización (Koochmarai et al. 1995).

Seguido a esto se obtuvo el porcentaje de retención de grasa de cada una de las muestras a través de la evaluación del extracto etéreo. Posteriormente las muestras fueron precocidas en horno eléctrico a 170°C hasta que su temperatura interna alcanzara los 70°C, se dejaron reposar a 7°C por 24 horas. Cada muestra fue evaluada a través del texturometro de Warner Bratzler (WB), a través de la prueba de resistencia al corte.

3. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados implementando el paquete estadístico **R** (R Development Core Team 2008), con un modelo de regresión lineal múltiple (Martinez & Martinez 1997), donde la variable respuesta fue la resistencia al corte de Warner Bratzler (**RCWB**) expresado en unidades de fuerza, buscando determinar el efecto de disminución de la terneza generado por una disminución de la deposición de grasa intramuscular a edades superiores.

3.1. Identificación de variables independientes

La variable dependiente es **RCWB** y las variables independientes iniciales son **GRASA**, **EDAD**, **RAZA** y **SEXO**. Se utilizó el método Stepwise basado en el criterio de información de Akaike (AIC, por sus siglas en inglés) para seleccionar el mejor modelo.

Nótese que el criterio de Akaike está definido como:

$$AIC = -2\ln(L) + 2p$$

donde p es igual al número de variables independientes, es decir $p = 4$ y L es la verosimilitud estimada de la muestra. Con este método se seleccionó el modelo con menor índice de Akaike, el cual retira de forma inmediata una a una cada variable con aporte de menor valor. Empezando con el modelo saturado con un AIC de -190.15 y terminando con el modelo correspondiente al menor AIC de -190.79.

La búsqueda del mejor modelo, se hace mediante el siguiente código en **R**:

```
> MODELO<-lm(WB ~ GRASA + EDAD + RAZA + SEXO)
> step(MODELO)
```

```
Start:  AIC=-188.9
WB ~ GRASA + EDAD + RAZA + SEXO
```

```
Step:  AIC=-190.15
WB ~ GRASA + EDAD + RAZA
```

```
Step:  AIC=-190.79
```

WB ~ GRASA + EDAD

De esta manera fue retirada la variable **SEXO**, en primer lugar, dejando el modelo con tres variables independientes, pero el procedimiento continuó hasta que el coeficiente AIC fuera menor y por tanto, la variable **RAZA** también fue retirada. El procedimiento encontró estabilidad en un modelo con sólo dos variables predictoras que corresponden a **GRASA** y **EDAD**.

Luego, se identificó el modelo con el cuál se trabajó, correspondiente al modelo con el AIC más bajo, dado por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon$$

Donde Y es **RCWB** como cuantificador de la terneza en la muestra, X_1 es la Edad de sacrificio y X_2 es el porcentaje de grasa.

3.2. Descripción de las variables

Se realizaron algunas gráficas (ver Figura 1.) para evaluar si los datos corresponden a un modelo lineal.

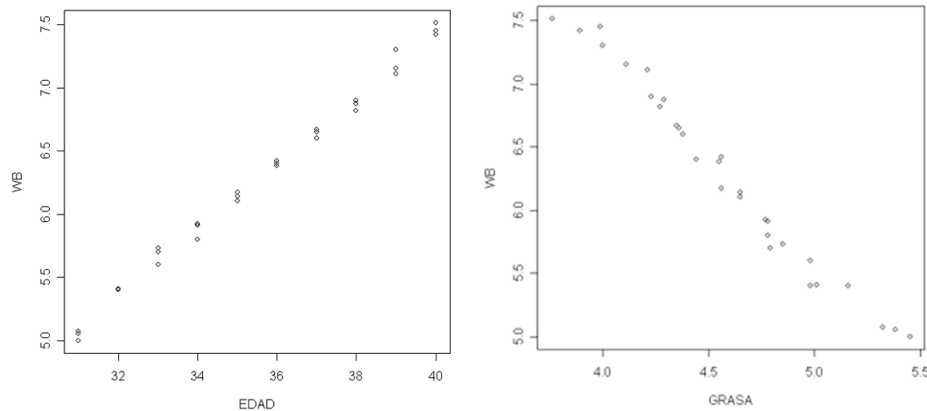


Figura 1: Relación de la variable dependiente contra las independientes

De esta manera se observa cómo los datos conservan un comportamiento lineal con una relación directa de la variable **EDAD** con la variable de interés **RCWB** y una relación inversa de la variable **GRASA** con **RCWB**.

3.3. Estimación del modelo

La estimación puntual de los parámetros de regresión del modelo escogido se hace a través de **R**, mediante el siguiente código:

```
> lm(formula = WB ~ GRASA + EDAD)

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.80411     0.84686   2.130  0.0424 *
GRASA       -0.48006     0.08540  -5.621 5.77e-06 ***
EDAD        0.18773     0.01294  14.505 2.89e-14 ***
```

Una forma de determinar la significación estadística de los coeficientes de regresión es realizando la estimación por intervalos de confianza.

```
                2.5 %    97.5 %
(Intercept)  0.0665054  3.5417149
GRASA       -0.6552865 -0.3048287
EDAD        0.1611760  0.2142881
```

Se notó que con una confianza del 95 %, la estimación por intervalo no contenía el valor cero y por lo tanto se pudo concluir que todos los coeficientes de regresión son estadísticamente significativos.

3.4. Inferencia del modelo

Se comprobaron las siguientes hipótesis del experimento con un nivel de significación de 0.05, para el análisis de varianza ANOVA:

$$H_0 : \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = 0 \quad V s \quad H_1 : \text{por lo menos un } \beta_i \neq 0, \text{ para } i = 0, 1, 2.$$

El código en **R** para el análisis de varianza y sus resultados están dados a continuación.

```
> anova(M1)
Analysis of Variance Table

Response: WB
      Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
GRASA  1 16.3328 16.3328 10379.01 < 2.2e-16 ***
EDAD   1  0.3311  0.3311  210.39 2.891e-14 ***
Residuals 27  0.0425  0.0016
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
 Residual standard error: 0.03967 on 27 degrees of freedom
 Multiple R-squared: 0.9975, Adjusted R-squared: 0.9973
 F-statistic: 5295 on 2 and 27 DF, p-value: < 2.2e-16

Debido a que el p-valor de la prueba F resultó en $2.2e-16$, siendo menor este que 0.05, se rechazó la hipótesis nula indicando que por lo menos una de las variables independientes tiene efecto sobre la variable de interés **RCWB**.

Se procedió a probar cuáles eran las variables independientes estadísticamente significativas para el modelo planteado, comprobando las siguientes hipótesis mediante una prueba t-student sobre cada uno de los coeficientes de regresión, así:

$$H_0 : \beta_0 = 0$$

$$H_1 : \beta_1 = 0$$

$$H_2 : \beta_2 = 0$$

Los resultados de dichas pruebas se muestran a continuación.

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.80411	0.84686	2.130	0.0424 *
GRASA	-0.48006	0.08540	-5.621	5.77e-06 ***
EDAD	0.18773	0.01294	14.505	2.89e-14 ***

El intercepto es significativo puesto 0.04 es menor que 0.05, la variable **GRASA** resulta significativa debido a que $5.77e-06$ es menor que 0.05, con una relación inversa en la cual, por cada unidad que se incrementa en el porcentaje de deposición grasa, la resistencia al corte, **RCWB**, disminuye en 0,48Kg/Pg2. En la variable **EDAD** también se comprobó su significación pues $2.89e-14$ es menor que 0.05 y mostró un efecto directo sobre la ternera, donde por cada mes de edad que animal es mayor, la resistencia al corte de **RCWB** se incremento en 0,18Kg/Pg2; además cabe anotar que el R^2 ajustado es igual a 0.9973, concluyendo que las variables tomadas fueron las mas apropiadas y que la variación en la ternera está demarcada por dichas variables. De forma similar se calculó el grado de asociación de las variables independientes con el índice de resistencia al corte de **RCWB**, donde el coeficiente de correlación múltiple fue $r = 99.87\%$.

3.5. Diagnóstico

Para garantizar que el modelo fuera el adecuado para el estudio se probaron los siguientes supuestos:

3.5.1. Homogeneidad

Se demostró en primer lugar que el material experimental utilizado fue homogéneo, siendo sometidos los animales bajo condiciones similares de alimentación, de acabado y manejo para tener el mayor control sobre dichos factores. Esto demuestra que el resultado obtenido de **RCWB** es debido al efecto de la variación de la edad y deposición grasa, mas no a otros factores no incluidos dentro del modelo. El coeficiente de variación de la variable respuesta fue del 12%, lo cual es menor al 35% máximo permitido en campo para determinación de homogeneidad (Martinez & Martinez 1997). El efecto de las variables **GRASA** y **EDAD** sobre la resistencia al corte fue del 99.7% determinado por el valor de R^2 , donde se podría suponer que sólo el 0.3% está determinado por otros factores que generan variación en el índice de fragmentación y que pudieron ser eliminados en el procedimiento de STEPWISE utilizando como criterio de eliminación el coeficiente AIC, pero con los anteriores resultados se corrobora que el efecto de dichas variables no tenía un gran aporte de forma individual dentro del modelo.

3.5.2. Errores de media nula

Los errores de estimación son variables aleatorias independientes ya que se asignaron al azar cada una de las unidades experimentales. Se demostró que la media del error es cero, a través de una prueba t-student de media nula sobre los residuales, obteniendo un p-valor equivalente a la unidad. Los resultados arrojados por el software estadístico **R** se muestran a continuación.

One Sample t-test

```
data: E
t = 0, df = 29, p-value = 1
alternative hypothesis: true mean is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.0142928  0.0142928
sample estimates:
 mean of x
-2.710505e-19
```

3.5.3. Errores de varianza constante

Del mismo modo se observó que la varianza del error fuera menor a la varianza del modelo en el ANOVA. Lo anterior se tiene puesto que la suma de cuadrados del error corresponde a 0.0425 y la suma de cuadrados del modelo es 16,66.

```
Response: WB
  Df  Sum Sq Mean Sq  F value    Pr(>F)
```



```

GRASA      1 16.3328 16.3328 10379.01 < 2.2e-16 ***
EDAD       1  0.3311  0.3311   210.39 2.891e-14 ***
Residuals 27  0.0425  0.0016

```

Para probar que la varianza es homogénea, se elaboró una gráfica de los residuales contra los valores ajustados por el modelo (ver Figura 2.), la cual no sigue ningún patrón de embudo, por lo cual podemos asegurar que existe homogeneidad de varianzas.

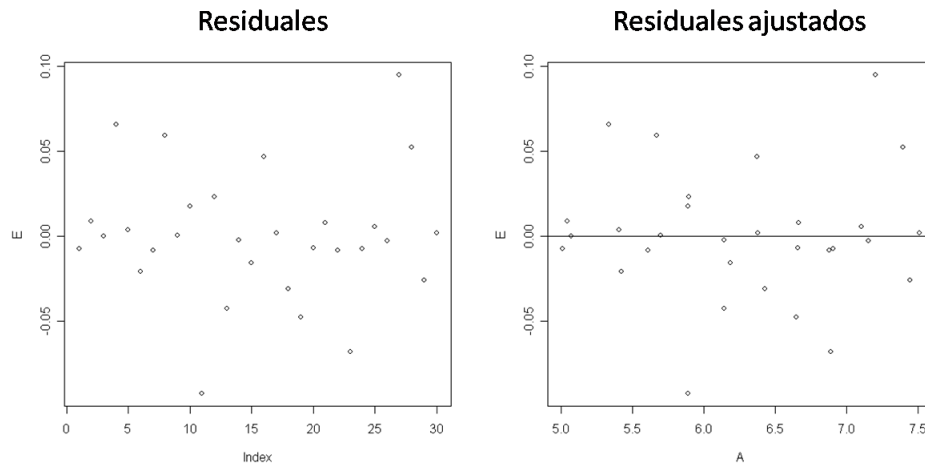


Figura 2: Gráfico de dispersión de los residuales

Sin embargo, fue necesario probar que la varianza de los errores fuera constante mediante una prueba F de igualdad de varianzas donde los residuales se dividieron en dos grupos (de manera aleatoria). El sistema de hipótesis de interés se muestra a continuación.

$$H_0 : \sigma_{E1}^2 = \sigma_{E2}^2 \quad Vs. \quad H_1 : \sigma_{E1}^2 \neq \sigma_{E2}^2$$

Los resultados arrojados por **R** están dados por la siguiente salida.

```

F test to compare two variances

data:  E1 and E2
F = 0.8769, num df = 14, denom df = 14, p-value = 0.8093
alternative hypothesis: true ratio of variances is not equal to 1
95 percent confidence interval:
 0.2943985 2.6118986
sample estimates:
ratio of variances
 0.8768917

```

Como el p-valor es 0.81 menor a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, confirmando que sí existe homogeneidad de varianzas entre los residuales.

3.6. Errores con distribución normal

Un primer paso para verificar la normalidad del error fue la realización de un histograma de los residuales y un gráfico $Q - Q$ Plot (ver Figura 3.)

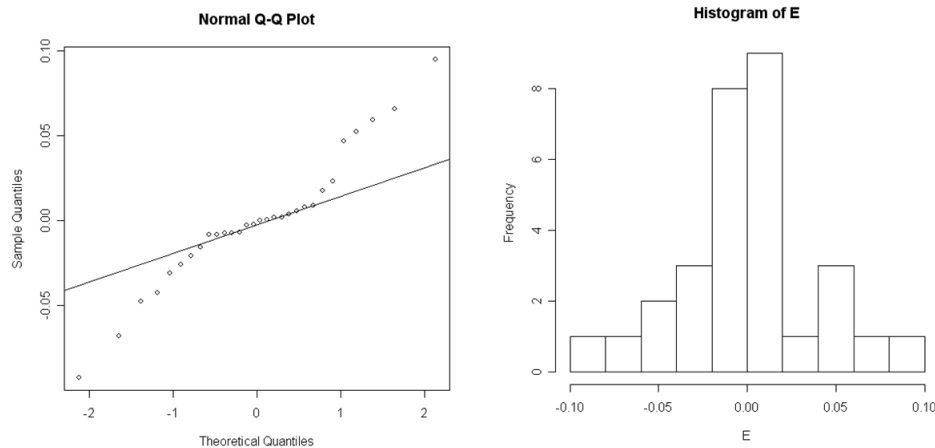


Figura 3: Gráfico de normalidad de los residuales

El histograma de los errores muestra un comportamiento en el que podría suponerse que los residuales provengan de una distribución normal. El $Q - Q$ Plot muestra unas ligeras desviaciones en las colas; sin embargo, en el centro coincide con los cantiles de normalidad, fenómeno que puede deberse al tamaño muestra $N=30$ (Petrie & Watson 2007).

Se confirmó dicha hipótesis mediante la realización de la prueba de Shapiro-Wilk. El sistema de hipótesis de esta prueba es dado por:

$$H_0 : E \sim N(\mu, \sigma^2) \quad Vs. \quad H_1 : E \not\sim N(\mu, \sigma^2)$$

Los resultados que arrojó el software estadístico **R**, se muestran a continuación.

Shapiro-Wilk normality test

```
data: E
W = 0.9508, p-value = 0.1773
```

Para este experimento el p-valor de la prueba de Shapiro-Wilk corresponde a 0.177 y es mayor que el nivel de significación. Luego no se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que los errores siguen una distribución normal.

3.7. Errores no correlacionados

El grado de asociación entre las variables fue medido por medio de la prueba de Durbin-Watson. Para observar si existía una correlación de primer orden entre los residuales se efectuó la prueba mediante la librería **CAR** del ambiente de **R**. El sistema de hipótesis de interés es el siguiente:

$$H_0 : \rho(E_i, E_{i+1}) = 0 \quad Vs. \quad H_1 : \rho(E_i, E_{i+1}) \neq 0$$

Los resultados arrojados por **R** están dados por la siguiente salida.

```
lag Autocorrelation D-W Statistic p-value
  1      0.01181407      1.974990      0.69
Alternative hypothesis: rho != 0
```

Como el p-valor de esta prueba es igual a 0.69 y es mayor que 0.05, entonces no se rechaza la hipótesis nula. Es decir no hay correlación entre los residuales.

4. Conclusiones y discusión

Con anterioridad se han evaluado las resistencias al corte en las cuales sí existen altas diferencias entre sexos, razas e inclusive edades; pero con este trabajo se quiso comprobar el comportamiento de la terneza en los animales de edades superiores, cuyas diferencias fueron notables entre los animales de mayor y menor edad. Otro componente al que en muchas ocasiones se le da importancia, más por su capacidad protectora y de defensa que le confiere a la canal, y no tanto por su aporte en cuanto terneza (inclusive mejorando la palatabilidad de las carnes) es el índice de deposición grasa, el cual mostró un comportamiento ligado a la variable **RCWB**. Existen múltiples factores que pueden afectar esta característica, aquellos que durante el trabajo no fueron representativos, pero de los cuales es muy importante generar trabajos futuros con estos datos, ya que como en este análisis dicha característica no varió, es posible que al incluir esos factores genéticos raciales y sexuales pueda cambiar la composición lipídica de las piezas musculares.

Dentro de los resultados obtenidos en este estudio, se pudo observar cómo la edad posee un efecto directo sobre la **RCWB**, mientras que la deposición de grasa intramuscular tiene un efecto inverso, aunque también significativo, sobre la terneza de la carne, al tomarlo como una cuantificación de resistencia al corte.

Finalmente, se debe resaltar la demostración del efecto de la edad sobre la terneza de las carnes bovinas y la relación de la cantidad de grasa depositada dentro del

músculo para generar una menor resistencia al corte, pero que de alguna manera no presentaron relación alguna entre ellas como era de esperarse por concordancia con la literatura, a pesar de que este fenómeno puede estar siendo explicado por las diferencias raciales y sexuales de los animales incluidos en este estudio.

Referencias

- Koohmaraie, M., Wheeler, T. & Shakelford, S. (1995), 'Beef tenderness: Regulation and prediction', *CSIRO Meat* pp. 4 – 16.
- Martinez, R. & Martinez, N. (1997), *Diseño de experimentos. Análisis de datos estándar y no estándar*, primera edn, Fondo Nacional Universitario.
- Petrie, A. & Watson, P. (2007), *Statistics for Veterinary and Animal Science*, second edn, Blacwell Publishing.
- R Development Core Team (2008), *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0.
*<http://www.R-project.org>