

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y VARIABILIDAD GENÉTICA DE BÚFALOS
(*Bubalus bubalis*) EN DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PARA
CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO Y EFICIENCIA EN LA UTILIZACIÓN
DE NUTRIENTES

DIANA MARÍA BOLÍVAR VERGARA

Medellín, 2011

**DESEMPEÑO PRODUCTIVO Y VARIABILIDAD GENÉTICA DE BÚFALOS
(*Bubalus bubalis*) EN DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PARA
CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO Y EFICIENCIA EN LA UTILIZACIÓN
DE NUTRIENTES**

DIANA MARÍA BOLÍVAR VERGARA

**Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Agrarias
de la Universidad de Antioquia, como requisito para
obtener el grado de Doctor en Ciencias Animales en
el área de Genética y Mejoramiento Animal**

DIRECTOR

Profesor Mario Fernando Cerón- Muñoz, Zoot, PhD

COMITÉ TUTORIAL

Profesor Mauricio Elzo, MV, PhD

Profesor Rolando Barahona Rosales, Zoot, PhD

Profesor Jaime Ricardo Rosero Noguera, Zoot., PhD

Medellín, Colombia

Facultad de Ciencias Agrarias

2011

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi esposo Javier y a mis hijos Laura, Sara y Francisco Javier, quienes siempre han estado presentes brindándome su amor y compañía. Gracias por su apoyo incondicional y por entender y aceptar mi ausencia.

Los amo

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia, la Corporación Universitaria Lasallista y a la Asociación Colombiana de Criadores de Búfalos, por su apoyo financiero y logístico, que hicieron posible el desarrollo de esta investigación.

A la Fundación Universitaria San Martín, por su apoyo económico.

A mi tutor, profesor Mario Fernando Cerón-Muñoz, por su valiosa orientación durante todo mi proceso en el doctorado. Sus conocimientos y su exigencia, en medio de nuestras diferencias, me fortalecieron a nivel académico y personal.

A los profesores Mauricio Elzo, Ricardo Rosero y Rolando Barahona, integrantes del comité tutorial, por su disponibilidad y valiosas sugerencias que contribuyeron al mejoramiento de este trabajo

A los estudiantes de pregrado Juan Diego Monsalve, Diana María Gutiérrez, Jeannie Sepúlveda, Yudy Muñoz, Lady Sepúlveda, Liliana Soto, Alejandro Díaz, Julián Londoño, Jonhatan Montes, Sebastián Pineda y May Pino, por su incondicional ayuda en el trabajo de campo. Gracias a ellos fue posible culminar este proyecto con éxito.

A mis compañeros de estudio Jacobo Cañas, William Burgos, Juan David Corrales y Samir Calvo, por su oportuna y valiosa colaboración.

A Julián Ramírez, Paula Angel, Divier Agudelo, Cristina Herrera y Luis Galeano, con quienes tuve la oportunidad de compartir a nivel académico y personal; y quienes, además de compañeros de trabajo, se han convertido en mis excelentes amigos.

A todas las personas que de alguna forma contribuyeron al desarrollo de trabajo con éxito; Roberto García, empleado de la Hacienda El Progreso, Elizabeth Rendón, Carolina Mesa, Linda Ríos, del grupo de trabajo del Centro de Investigación de Ciencias Agrarias.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL	16
RESUMEN	25
<i>CAPÍTULO 1. Usos y tendencias de las pruebas de desempeño y su aplicación en Colombia</i>	<i>31</i>
Resumen	31
Introducción	33
Importancia de las pruebas de desempeño en el mejoramiento genético	35
Características a evaluar en las pruebas de desempeño	37
Aspectos a tener en cuenta en el desarrollo de pruebas de desempeño	42
Impacto de las pruebas de desempeño	54
Análisis estadístico	57
Índices	59
Consideraciones finales	61
Bibliografía	62
<i>CAPÍTULO 2. Performance tests for buffaloes (Bubalus bubalis) coming from meat and dual-purpose (meat-milk) preweaning management systems in Colombia.....</i>	<i>69</i>
Abstract.....	70
Introduction	73
Materials and methods.....	74
Results	77
Discussion	82
Conclusions.....	90
References.....	90
<i>CAPÍTULO 3. Growth curves for buffaloes using random regression mixed models with different structures of residual variances</i>	<i>94</i>
ABSTRACT	94
INTRODUCTION	96
MATERIALS AND METHODS.....	97

RESULTS AND DISCUSSION.....	101
CONCLUSION.....	109
LITERATURE CITED.....	110
<i>CAPÍTULO 4. Parámetros genéticos para características de crecimiento en búfalos (Bubalus bubalis Artiodactyla, Bovidae) en Colombia</i>	122
Resumen	122
Introducción	125
Materiales y Métodos	126
Resultados.....	128
Discusión	129
Bibliografía	135
<i>CAPÍTULO 5. Covariance functions and genetic parameters for body weight in buffaloes (Bubalus bubalis) in Colombia using random regression models</i>	140
ABSTRACT.....	141
INTRODUCTION	142
MATERIALS AND METHODS.....	143
RESULTS AND DISCUSSION.....	147
FINAL REMARKS	159
LITERATURE CITED.....	160
<i>CAPÍTULO 6. Parámetros genéticos para características reproductivas en una población de búfalos (Bubalus bubalis Artiodactyla, Bovidae) en el Magdalena Medio Colombiano</i>	170
Resumen	170
Introducción	172
Materiales y Métodos.....	173
Resultados y Discusión.....	175
Conclusiones	180
Bibliografía.....	180
<i>CAPÍTULO 7. Características de eficiencia alimenticia y relaciones con el desempeño productivo de búfalos (Bubalus bubalis Artiodactyla, Bovidae) en crecimiento</i>	186

RESUMEN	186
INTRODUCCIÓN	187
MATERIALES Y MÉTODOS.....	189
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	196
CONCLUSIONES	208
LITERATURA CITADA.....	209
<i>CAPÍTULO 8. Reseña histórica sobre el desarrollo de las pruebas de desempeño</i>	<i>221</i>
1. Ubicación.....	224
1. Sistema de manejo: confinamiento vs pastoreo	225
2.1 Establecimiento de pasturas.....	225
2.2 Construcción de corrales	230
2. Elaboración del reglamento de las pruebas de desempeño.....	234
3. Firma de los Convenios con los propietarios de los búfalos participantes de las Pruebas de desempeño	234
4. Dieta	234
5. Manejo de los animales	235
6. Conducción de las pruebas	238
7. Certificado de los búfalos participantes en las pruebas	240
8. Colecta de semen.....	240
<i>CONSIDERACIONES FINALES.....</i>	<i>245</i>
<i>ANEXOS</i>	<i>249</i>

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO 2

PERFORMANCE TESTS FOR BUFFALOES (*Bubalus bubalis*) COMING FROM MEAT AND DUAL-PURPOSE (MEAT-MILK) PREWEANING MANAGEMENT SYSTEMS IN COLOMBIA

Table 1	Averages and standard deviations of age and weights during post-yearling performance tests of buffaloes coming from two preweaning systems	75
Table 2	Chemical composition of the diet offered during post-yearling performance tests of buffaloes coming from two preweaning management systems	76
Table 3	Growth, ultrasound, and bovinometric trait regression parameters for buffaloes from two preweaning systems in post-yearling performance tests	79
Table 4	Variance components for post-yearling growth, ultrasound, and bovinometric traits in performance tests for buffaloes coming from two preweaning systems	85
Table 5	Correlations between b_{0i} and b_{1i} for growth, ultrasound, and bovinometric traits during post-yearling performance tests for buffaloes from two preweaning systems	86

CAPÍTULO 3

GROWTH CURVES FOR BUFFALOES USING RANDOM REGRESSION MIXED MODELS WITH DIFFERENT STRUCTURES OF RESIDUAL VARIANCES

Table 1	Residual variance-covariance structures evaluated in 2 random regression mixed models to describe the growth of buffaloes in a performance test	115
Table 2	Parameters for body weight estimated by a second-order random regression mixed model with different residual variance structures, in buffaloes under a performance test	116
Table 3	Parameters for <i>Longissimus dorsi</i> muscle area estimated by a first-order random regression mixed model with different residual variance structures, in buffaloes under a performance test	117
Table 4	Parameters for fat thickness over the hip estimated by a second-order random regression mixed model with different residual variance structures, in buffaloes under a performance test	118

CAPÍTULO 4

PARÁMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS DE CRECIMIENTO EN BÚFALOS (*Bubalus bubalis Artiodactyla, Bovidae*) EN COLOMBIA

Tabla 1	Análisis descriptivo para las características peso al destete, peso a los 12, 18 y 24 meses de búfalos en el trópico bajo colombiano	128
Tabla 2	Componentes de varianza estimados (kg^2) y heredabilidades para características de crecimiento en búfalos en el trópico bajo colombiano	129
Tabla 3	Correlaciones genéticas (debajo de la diagonal) y fenotípicas (encima de la diagonal) entre peso a los 12, 18 y 24 meses de búfalos en el trópico bajo colombiano	130

CAPÍTULO 5

COMPONENTES DE COVARIANZA Y PARÁMETROS GENÉTICOS PARA PESO VIVO EMPLEANDO MODELOS DE REGRESIÓN ALEATORIA EN BÚFALOS (*BUBALUS BUBALIS ARTIODACTYLA, BOVIDAE*) EN COLOMBIA

Tabla 1	Order of fit of additive direct (K_A) and maternal (k_M) effects and animal (K_C) and maternal (K_Q) permanent environmental effects, number of parameters (N_p), log-likelihood value (Log), Akaike information criterion (AIC), and Bayesian information criterion (BIC).	164
Tabla 2	Estimates of variances (diagonal), covariances (below the diagonal), correlations among random regression coefficients (above the diagonal) and eigenvalues (λ) of the (co)variance matrix for models with order of fit 4,3,6,3 (M4363) and 4,3,6,4 (M4364) for direct and maternal genetic effects and animal and maternal permanent environmental effects, respectively.	165
Tabla 3	Estimates of additive direct (above the diagonal) and additive maternal (below the diagonal) correlations for weights from 240 to 900 days of age obtained with model M4363.	166
Tabla 4	Estimates of animal permanent environmental (above the diagonal) and maternal permanent environmental (below the diagonal) correlations for weights from 240 to 900 days of age obtained with model M4363.	167

CAPÍTULO 6

PARÁMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS EN UNA POBLACIÓN DE BÚFALOS (*BUBALUS BUBALIS* ARTIODACTYLA, BOVIDAE) EN EL MAGDALENA MEDIO COLOMBIANO

Tabla 1	Análisis descriptivo para las características reproductivas edad al primer parto e intervalo entre partos, en una población de búfalos en el Magdalena Medio Colombiano	184
Tabla 2	Componentes de varianza y parámetros genéticos para intervalo entre partos total y estratificado por número de parto en búfalos en el Magdalena Medio Colombiano	184
Tabla 3	Varianzas genéticas (en la diagonal), covarianzas genéticas (debajo de la diagonal) y ambientales (encima de la diagonal) entre intervalo entre partos y edad al primer parto en búfalos en el Magdalena Medio Colombiano	185
Tabla 4	Correlaciones genéticas (debajo de la diagonal) y fenotípicas (encima de la diagonal) entre intervalo entre partos y edad al primer parto en búfalos en el Magdalena Medio Colombiano	185

CAPÍTULO 7

CARACTERÍSTICAS DE EFICIENCIA ALIMENTICIA Y RELACIONES CON EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE BÚFALOS (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae) EN CRECIMIENTO

Tabla 1	Composición de la dieta experimental utilizada en las pruebas de desempeño de búfalos provenientes de dos sistemas de producción (cría sin ordeño y doble propósito)	216
Tabla 2	Medias de mínimos cuadrados para características de desempeño y medidas de eficiencia para búfalos provenientes de sistemas de cría sin ordeño por categorías de consumo residual de alimento (CRA)	217
Tabla 3	Medias de mínimos cuadrados para características de desempeño y medidas de eficiencia para búfalos provenientes de sistemas doble propósito por categorías de consumo residual de alimento (CRA)	218
Tabla 4	Ecuaciones de regresión para predecir consumo de materia seca en búfalos provenientes de sistemas CSO	219
Tabla 5	Ecuaciones de regresión para predecir consumo de materia	219

Tabla 6	seca en búfalos provenientes de sistemas DP Ecuaciones de regresión para predecir consumo de materia seca en los búfalos participantes en las cuatro pruebas de desempeño	220
---------	--	-----

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

PERFORMANCE TESTS FOR BUFFALOES (*Bubalus bubalis*) COMING FROM MEAT AND DUAL-PURPOSE (MEAT-MILK) PREWEANING MANAGEMENT SYSTEMS IN COLOMBIA

Figure 1	Growth plots of performance tests conducted with buffaloes from farms without milking (data adjusted by a linear mixed model of first and second order). REA = longissimus muscle area; RFT = rump fat thickness; CG = chest girth; HW = height at withers; HS = height at sacrum	80
Figure 2.	Growth plots of performance tests conducted with buffaloes from dual purpose farms (data adjusted by a linear mixed model of second order). REA = longissimus muscle area; RFT = rump fat thickness; CG = chest girth; HW = height at withers; HS = height at sacrum	81

CAPÍTULO 3

GROWTH CURVES FOR BUFFALOES USING RANDOM REGRESSION MIXED MODELS WITH DIFFERENT STRUCTURES OF RESIDUAL VARIANCES

Figure 1.	Residuals for body weight (BW) estimated by Model 2, assuming homogeneity of variances, using all measurements (left-hand side), and excluding measurements during the adjustment period (right-hand side). A. Standardized Residuals vs. Predicted Values; B. Residuals vs. Age. C; Residuals vs Farms; D. Residuals vs. Measurements; E. Residuals vs. Animals.	119
Figure 2.	Residuals for area of <i>longissimus dorsi</i> muscle area (AOL) estimated by Model 3, with $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_j^2)$ $j = 1, 2 \dots 26$. A. Standardized residuals vs. predicted values; B. Residuals vs. Age; C. Residuals vs Farms; D. Residuals vs. Measurements; E. Residuals vs. Animals.	120
Figure 3.	Residuals for fat thickness over the hip (FOH) estimated by model 9, with $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_j^2 * e^{2\delta * age_i})$ $j = 1 \dots 4$. A. Standardized residuals vs. predicted values; B. Residuals vs. Age; C. Residuals vs. Farm; D. Residuals vs. Measurement; E. Residuals vs. Animals	121

CAPÍTULO 5

COMPONENTES DE COVARIANZA Y PARÁMETROS GENÉTICOS PARA PESO VIVO EMPLEANDO MODELOS DE REGRESIÓN ALEATORIA EN BÚFALOS (*BUBALUS BUBALIS ARTIODACTYLA*, *BOVIDAE*) EN COLOMBIA

Figura 1	Estimates of direct additive genetic (DAGV), additive maternal (MAGV), animal permanent environmental (APEV), maternal permanent environmental (MPEV), residual (RV) and phenotypic (FV) variances, obtained with models M4363 (Δ) and M 4364 ($\bullet$).	168
Figura 2.	Direct and maternal heritability, animal permanent environmental variance as part of phenotypic variance (p^2) and maternal permanent environmental variance as part of phenotypic variance (c^2), obtained with models M4363 (Δ) and M4364 ($\bullet$).	169
Figura 3	Eigenfunctions of the additive genetic covariance matrix and their respective eigenvalues (272.16 and 40.63) obtained with model M4363.	168

CAPÍTULO 7

CARACTERÍSTICAS DE EFICIENCIA ALIMENTICIA Y RELACIONES CON EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE BÚFALOS (*Bubalus bubalis* *Artiodactyla*, *Bovidae*) EN CRECIMIENTO

Figura 1	Búfalo experimental portando el arnés y las bolsas para la recolección total de las heces.	194
----------	--	-----

CAPÍTULO 8

RESEÑA HISTÓRICA SOBRE EL DESARROLLO DE LAS PRUEBAS DE DESEMPEÑO

Figura 1	Establecimiento manual del pasto Maralfalfa (<i>Penisetum sp</i>) en el Centro Experimental El Progreso	227
Figura 2.	Ensilaje del pasto Maralfalfa (<i>Penisetum sp</i>).	228
Figura 3	Establecimiento manual sorgo forrajero (<i>Sorghum vulgare</i>) en el Centro Experimental El Progreso	229
Figura 4.	Esquema de los corrales donde fueron confinados los búfalos durante las Pruebas de Desempeño.	231
Figura 5.	Corrales de alojamiento para los búfalos, brete báscula y tanque estercolero	232
Figura 6.	Uso de cama (pasto lignificado y seco) durante la primera prueba de desempeño	233
Figura 7.	Aspectos a destacar en el manejo de los búfalos y docilidad de estos animales	237
Figura 8.	Medidas bufalométricas y de ultrasonido tomadas en las pruebas de desempeño.	241
Figura 9.	Colecta de semen a los búfalos ganadores de las pruebas de desempeño	244

INTRODUCCIÓN GENERAL

El búfalo (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae) se ha convertido en una alternativa para la producción de carne y leche en el trópico bajo colombiano, debido a su excelente adaptación a las condiciones climáticas, a la capacidad que tiene para aprovechar con mayor eficiencia las pasturas de baja calidad (Angulo *et al.*, 2002; Gigli *et al.*, 2001; Rodas *et al.*, 2001; Franzolin, 1999) y a la alta calidad de sus productos (USDA/ARS, 2005; Oliveira, 2005). Además, en el país existen grandes extensiones de tierras inundables en las que el ganado vacuno no produce eficientemente, mientras que el búfalo presenta una excelente adaptación a estas condiciones (Oliveira *et al.*, 1991; Gutiérrez, 2001). Esta especie ha tenido una alta expansión en Colombia, presentando un crecimiento anual cercano al 10%, cifra superior al 3% del crecimiento de la ganadería vacuna (Torres, 2009).

El búfalo en Colombia es manejado bajo dos sistemas de producción, doble propósito (DP) y cría sin ordeño (CSO). En el sistema DP, el objetivo principal es la producción láctea, ya que la calidad de la leche (altos contenidos de grasa, proteína y sólidos totales), ha permitido obtener los mejores precios en el mercado de leche colombiano. En estos sistemas, la producción de bucerros se encuentra en un segundo lugar, los cuales generalmente llegan con bajos pesos al destete, alcanzando el peso al sacrificio a una edad más tardía. Sin embargo, es importante rescatar el potencial que tiene esta especie para la producción de carne. El búfalo es un animal precoz, alcanzando el peso de sacrificio antes que el ganado vacuno (Angulo *et al.* 2005, Jorge *et al.*, 2005). Manejar el búfalo bajo un esquema de producción de doble propósito (DP), permite aprovechar las ventajas que tiene esta especie para producción de carne y leche.

El objetivo de la CSO, es producir búfalos con altos pesos al destete, alcanzando a una edad temprana el peso para el sacrificio, para colocar en el mercado carne de animales jóvenes, llamados en otros países "baby búfalo". En Colombia se ha iniciado el sacrificio de búfalos entre 24 y 26 meses de edad, con un peso de 450

kg. La capacidad que tienen los búfalos para alcanzar altos pesos a edades tempranas, puede relacionarse con algunas características reproductivas como edad al primer servicio y edad al primer parto, aspecto importante a considerar en un programa de mejoramiento genético.

Dadas las ventajas que presenta esta especie, existe gran interés por parte de los ganaderos de aumentar la población y su productividad, presentándose el mejoramiento genético como una herramienta importante para mejorar la rentabilidad de los sistemas de producción. Teniendo en cuenta los sistemas de producción bufalina en Colombia, es importante implementar un programa de mejoramiento genético para características relacionadas con la producción de leche y carne. Para esto, es necesario definir las características a mejorar, identificar los animales genéticamente superiores para dichas características, seleccionar los individuos que cumplan los objetivos que se han planteado y planear los apareamientos de los animales seleccionados.

Según el informe de la FAO (2010) sobre la situación de los recursos zoogenéticos mundiales para la alimentación y la agricultura, de los 161 informes nacionales, 41 informan sobre la cría de búfalos, de los cuales sólo 12 países mencionan el mejoramiento del búfalo como prioridad, pero únicamente 9 países disponen de programas de mejoramiento genético. Según la FAO (2010), los principales países que disponen de programas de mejoramiento para el búfalo son India, Pakistan, China, Egipto y Bulgaria, siendo el principal objetivo el mejoramiento de la producción láctea.

En Suramérica, el país que más ha avanzado en el mejoramiento genético de búfalos es Brasil. Por iniciativa de la Asociación Brasileira de los Criadores de Búfalos (ABCB) y con apoyo del Ministerio de la Agricultura e Pecuaria (MAPA) desde 1998, se vienen desarrollando diversas acciones integradas con el objetivo de incrementar la productividad lechera con la identificación, por medio del control lechero, de animales de elevado potencial productivo y de su multiplicación por la

utilización de la técnica de Inseminación Artificial, además de fomentar y apoyar la difusión de “Núcleos Regionales” de productores (Tonhati *et al.*, 2008). En 1999, inició el programa de mejoramiento genético de búfalos (PROMEBUL), publicándose en el 2001, el primer resumen de toros brasileiros, para leche y carne, con el objetivo de identificar los principales toros que estaban contribuyendo con el mejoramiento de su progenie e identificar los toros indicados para realizar a futuro la prueba de progenie (PROMEBUL, 2001). En el 2004, publicaron el II resumen brasileiro de toros bufalinos, consolidando y clasificando los toros identificados como mejorantes, además de identificar nuevos toretes para ser usados en la prueba de progenie (PROMEBUL, 2004). Por iniciativa de un grupo de investigadores de São Paulo (FMVZ-UNESP-Botucatu, ABCB y EMBRAPA), se propuso el proyecto de mejoramiento genético de bubalinos involucrando control lechero, control de desarrollo ponderal en las haciendas, pruebas de ganancias de peso (pruebas de desempeño) y pruebas de progenie (PROMEBUL, 2005).

En cuanto al mejoramiento del búfalo en Colombia, se puede afirmar que este país tiene alto potencial para realizar programas de mejora genética en esta especie, como se realiza en países como Brasil, Italia e India. Colombia posee hatos numerosos y cuenta con la Asociación Colombiana de Criadores de Búfalos (ACB), entidad que viene consolidando el archivo nacional zootécnico y en la que se encuentran agremiados alrededor de 60 criadores.

Al respecto, el grupo de investigación en Genética, Mejoramiento y Modelación Animal –GaMMA de la Universidad de Antioquia y la Corporación Universitaria Lasallista, en conjunto con la ACB, ha iniciado durante los últimos cuatro años varios proyectos con miras a implementar un programa de mejoramiento genético, para características relacionadas con la producción de leche y carne. Actualmente, está funcionando el programa de control lechero en búfalos con el fin de evaluar calidad cuantitativa de componentes de la leche y producción. Igualmente, se está realizando control cárnico en varias bufaleras del país. Estos programas han

permitido realizar las primeras evaluaciones genéticas para características de calidad y cantidad de leche y pesos a diferentes edades. Otro avance que se ha tenido es la determinación de la estructura genética de la población bufalina en Colombia y se establecieron marcadores microsatélites útiles para pruebas de paternidad en la especie.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Agudelo *et al.* (2009), es posible alterar la curva de crecimiento del ganado bufalino en Colombia, ya que en las poblaciones evaluadas se observó variabilidad fenotípica y genética, encontrando heredabilidades de valor medio para características de crecimiento. Es importante realizar más investigación para conocer el grado de variabilidad genética que tiene el búfalo en Colombia, ya que esta permite hacer selección y mejoramiento genético. La variación genética es compleja, pero si se conocen su magnitud y tipo, ésta puede ser usada para obtener importantes ganancias con base en la selección de individuos genéticamente superiores (Zobel y Talbert, 1984).

Uno de los aspectos críticos en un programa de mejora genética, es la correcta identificación de los animales con mayor potencial genético para las características de interés. En especies para producción de carne, la identificación de los mejores individuos se basa en la evaluación genética, mediante el análisis de bases de datos y modelos estadísticos complejos (datos provenientes de un número grande de hatos conectados) y el uso de pruebas de desempeño, sometiendo grupos de animales de un mismo rango de edad, a un mismo manejo, régimen alimenticio y condiciones ambientales (Nephawe *et al.*, 2006; Schenkel *et al.*, 2004). Tanto el análisis de bases de datos, como las pruebas de desempeño, constituyen herramientas importantes y complementarias para el montaje de sistemas de evaluación genética entre hatos.

Las pruebas de desempeño permiten evaluar los animales por su propio desempeño, siendo indicadas para características de media a alta heredabilidad, donde la producción individual indica con relativa precisión su valor genético;

condición que cumplen muchas de las características de importancia económica en ganado de carne, además de su fácil medición en el animal (Nephawe *et al.*, 2006; Pereira, 1999; Schenkel *et al.*, 2004). Estas pruebas cumplen un papel muy importante cuando se inicia un programa de mejora genética. Al inicio, generalmente no se tiene buena conectabilidad genética de los datos provenientes de las diferentes explotaciones, perjudicando las evaluaciones entre hatos (Razook, *et al.*, 1997). En Colombia este aspecto es muy importante, ya que en los sistemas de producción de bovinos de carne, es frecuente encontrar una baja implementación de programas de inseminación artificial, o en su defecto monta natural con paternidad responsable. Esta situación puede conllevar a que no se encuentre una buena conectabilidad genética entre los hatos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se planteó esta investigación con el objetivo de determinar si existe variabilidad genética en búfalos provenientes de diferentes sistemas de producción colombiano, CSO y DP, mediante la evaluación por pruebas de desempeño y evaluación genética utilizando información genealógica y productiva de la ACB y de las fincas, para características de producción de carne. Inicialmente, se realizó una revisión de literatura sobre la importancia de las pruebas de desempeño, características a evaluar y aspectos metodológicos, con el objetivo de analizar su aplicación en Colombia y diseñar las pruebas (Capítulo 1).

Se realizaron cuatro pruebas de desempeño, dos para sistemas de CSO y dos para sistemas DP. Con los resultados obtenidos en estas pruebas, se analizaron las características de crecimiento (peso, deposición de tejidos y medidas bovinométricas) y se indagó sobre la existencia de variabilidad fenotípica y genética para estas características (Capítulo 2). Las varianzas genéticas estimadas para los coeficientes de regresión fueron diferentes de cero, sugiriendo que estas características pueden ser mejoradas genéticamente en Colombia.

El desarrollo de pruebas de desempeño, implica la toma de múltiples observaciones sobre el animal a través del tiempo. En el análisis de esta clase de datos, el supuesto de homogeneidad de varianzas normalmente no es válido, ya que las varianzas entre mediciones pueden ser diferentes. En este sentido, en el capítulo 3, se analiza el crecimiento de los búfalos participantes de la primera PD desarrollada en Colombia, mediante modelos mixtos con diferentes estructuras de varianzas residuales. Las estructuras de varianza evaluadas no eliminaron completamente la heterogeneidad de varianzas.

La evaluación genética para peso, utilizando la información genealógica y productiva de la ACB y de las fincas, se realizó mediante modelos unicaracterísticos y multicaracterísticos (capítulo 4) y utilizando modelos de regresión aleatoria (capítulo 5). Se encontró alta variabilidad genética para peso al destete y peso a los 12, 18 y 24 meses de edad, sugiriendo que la selección por estas características es posible en esta población, permitiendo obtener progreso genético (capítulo 4). Según los modelos de regresión aleatoria, la selección basada en los pesos cercanos a la edad del destete, puede resultar en una mayor respuesta para habilidad materna y según los valores de correlación genética directa y materna encontrados, posiblemente la selección de búfalos por mayores pesos a cualquier edad promoverá mayores pesos desde el nacimiento hasta los 900 días de edad (capítulo 5).

También se encontró alta variabilidad genética para edad al primer parto, mientras que para intervalo entre partos la variabilidad genética fue baja, indicando que esta característica está muy influenciada por factores ambientales y genéticos no aditivos, por lo tanto poco progreso genético se puede lograr mediante la selección (capítulo 6).

En el capítulo 7, se presenta la evaluación de características de eficiencia alimenticia a través de índices como conversión alimenticia, consumo residual de alimento, tasa relativa de crecimiento, proporción de Kleiber y digestibilidad aparente de nutrientes y sus relaciones con el desempeño productivo en búfalos.

Los resultados indicaron que el consumo residual de alimento es una herramienta útil para identificar los búfalos más eficientes, sin alterar su desempeño productivo.

En la última parte de este trabajo de investigación (capítulo 7), se realiza una descripción detallada de todos los aspectos metodológicos considerados y dificultades que se presentaron en la implementación y desarrollo de las pruebas de desempeño. Este material será de utilidad para investigadores y criadores que deseen desarrollar pruebas de desempeño con búfalos o vacunos de carne.

Bibliografía

Agudelo, G.D., Hurtado, L.A., Cerón-Muñoz, M.F. 2009. Growth Curves and Genetic Parameters in Colombian Buffaloes (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae). *Rev Colomb Cienc Pecu*; 22:178-188.

Angulo, R.A., Ramírez, J.F., Hurtado, N.A., Restrepo, L.F., Montoya, C.A., Bedoya, M. and Berdugo, J.A. 2002. Comparative analysis of the quality of cattle and bufaline carcass marketed in the city of Medellín - Colombia. In: *Proceedings First Symposium Buffalo of Americas*. Belem-Para, Brasil. p. 532-534.

Angulo, R.A., Restrepo, L.F. y Berdugo, J.A. 2005. Características de calidad de las canales bufalinas y vacunas comercializadas en Medellín, Colombia. *Liv Res Rur Dev* 17 (9).

FAO. 2010. La situación de los recursos zoogenéticos mundiales para la alimentación y la agricultura, editado por Barbara Rischkowsky y Dafydd Pilling. Roma. <http://www.fao.org/docrep/012/a1250s/a1250s00.htm>

Franzolin, R. 1999. [CD-Rom] Pesquisas em nutrição de bubalinos. En: *Anais do II Simpósio Paulista de Bubalinocultura*. São Paulo, Brasil. 18 pp.

Gigli, S., Failla, S., Settineri, D., Visegna, V., Ballico, S. 2001. [CD-Rom] Meat performance of buffalo according to management system. In: *Proceedings VI World Buffalo Congress: an alternative for animal agriculture in the third millenium*. Maracaibo, Venezuela. 11-17.

Gutiérrez, M. 2001. Buffalo production perspectives in Colombia. In: Proceedings VI World Buffalo Congress: an alternative for animal agriculture in the third millenium. Maracaibo, Venezuela. 677-697 p.

Jorge, M.A., Andrighetto, C., Castro, S.V. 2005. Desenvolvimento ponderal de bubalinos da raça Murrah criados empastagem de Brachiaria brizantha no Centro-Oeste do Estado de São Paulo, Brasil. Cienc Rural; 35(2): 417-421.

Nephawe, K.A., Maiwashe, A. and Theron, H.E. 2006. The effect of herd of origin by year on post-weaning traits of young beef bulls at centralized testing centres in South Africa. S. Afr. J. Anim. Sci.; 36 (2): 33-39.

Oliveira, A.L., Velloso, L. and Schalech, E. 1991. Carcass characteristics and yield of zebu steers compared with water buffalo. In: World Buffalo Congress, 3. Varna: The Word Buffalo Congress. 1019-1026 p.

Oliveira, AdeL. 2005. Búfalos: produção, qualidade de carcaça e de carne. Alguns aspectos quantitativos, qualitativos e nutricionais para promoção do melhoramento genético. Revista Brasileira Reproducción Animal; 29 (2): 122-134.

Pereira, J.C.C. 1999. Melhoramento Genético Aplicado a Produção Animal. FEP-MVZ Ed. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.

PROMEBUL, 2005. Manual do Usuário. Programa da FMVZ-UNESP-Botucatu, ABCB, EMBRAPA. Coordenador Alcides de Amorim Ramos; Colaborador André Mendes Jorge. 27 p.
http://www.fmvz.unesp.br/bufalos/HPBufalos_files/promebul/Manual_do_Criador.pdf

PROMEBUL. 2001. Boletim técnico nº 1. Sumário de touros bubalinos. Coordenador Alcides de Amorim Ramos; colaboradores Valter Joost Van Onselen, Heraldo César Gonçalves. – Botucatu, UNESP/FMVZ. 20 p.
http://www.fmvz.unesp.br/bufalos/HPBufalos_files/promebul/SUMARIO_2002.pdf

PROMEBUL. 2004. Boletim técnico nº 2. Sumário de touros bubalinos. Coordenador Alcides de Amorim Ramos ; Francisco S. Wechsler, Valter Joost Van Onselen, Heraldo César Gonçalves. – Botucatu : UNESP/FMVZ. 37 p.
http://www.fmvz.unesp.br/bufalos/HPBufalos_files/promebul/SUMARIO_2004.pdf

Razook, A. G, L. La., Figueiredo, J.N. S. G., Cyrillo, L. J., Pacola, N. L. M., Bonilha, J. B. F., Trovo, La. C., Ruggieri, and M. Y. Z., Mercadante. 1997. Prueba de Ganancia de Peso Normas adoptadas por la Estación Experimental de Zootecnia de Sertãozinho. Nova Odessa, Sao Paulo, Brazil, Inst. Zootec. Tech. Bull. 40.

Rodas, A., Huerta, N., Vidal, A., Rodríguez, R., Colina, O. 2001. Rendimiento carnítero de búfalos vs. Vacunos acebuados producidos a sabanas y sacrificados serialmente a cuatro edades contemporáneas. In Proc. I SAW World Buffalo Congress, Maracaibo, Venezuela. 65 p.

Schenkel, F.S., Miller, S.P., Wilton, J.W. 2004. Herd of origin effect on weight gain of station-tested beef bulls. *Livest. Prod. Sci.*; 86: 93–103.

Tonhati, H. Mendoza-Sánchez, G., Sesana, R. C., Aspicuelta Borquis, R. R., y Galvão de Albuquerque, L. 2008. Programa de mejoramiento genético de búfalos. *Revista Argentina de Producción Animal* 28 (1): 53-67.

Torres GE. Búfalos: Una Especie Promisoria. 2009 [Agosto 6, 2011]. URL:<http://www.perulactea.com/2009/09/30/búfalos-una-especie-promisoria/>

USDA/ARS. US. 2005. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. Nutrient Data Laboratory. Search The USDA National Nutrient Database for standard national nutrient database for Standard Reference, Release 18. <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp>

Zobel, B., Talbert, J. 1984. Applied forest tree improvement. New York: John Wiley & Sons. 505p.

RESUMEN

Un aspecto a considerar en los programas de mejora genética, es la correcta identificación de individuos genéticamente superiores para las características a mejorar. La identificación de los animales se basa en la evaluación genética mediante el análisis de bases de datos (información suministrada por las diferentes asociaciones y productores), utilizando modelos estadísticos complejos y el uso de pruebas de desempeño, sometiendo grupos de animales a las mismas condiciones ambientales. En estas pruebas se pueden evaluar características de importancia económica para la producción de carne, como peso corporal, conversión alimenticia y deposición de tejidos. Estas pruebas cumplen un papel muy importante cuando se inicia un programa de mejora genética, ya que al inicio generalmente no se tiene buena conectabilidad genética de los datos provenientes de las diferentes explotaciones, perjudicando las evaluaciones entre hatos. Dadas las condiciones en que se desarrollan los sistemas de producción de carne en Colombia, las PD se presentan como una alternativa para iniciar el proceso de evaluación genética, pudiendo ser utilizadas para iniciar las pruebas de progeñe.

El objetivo de esta investigación fue determinar la existencia de variabilidad genética en búfalos provenientes de diferentes sistemas de producción colombiano, cría sin ordeño y doble propósito, mediante la evaluación por pruebas de desempeño y evaluación genética utilizando información genealógica y productiva de la Asociación Colombiana de Criadores de Búfalos y de las fincas, para características de producción de carne.

Se desarrollaron cuatro pruebas de desempeño, dos para animales provenientes de CSO y dos para animales de sistemas DP. Estas pruebas se realizaron en el Centro Experimental El progreso de la Universidad de Antioquia, ubicado en el municipio de Barbosa, departamento de Antioquia, en una zona de vida de bosque húmedo subtropical. Los animales fueron confinados y alimentados con pasto

Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) fresco a voluntad y dos kilogramos de un suplemento por día. Se realizaron pesajes, medidas bovinométricas (perímetro torácico, altura a la cruz y altura al sacro); medidas por ultrasonido (área del músculo *Longissimus dorsi* y espesor de grasa de la cadera) y mediciones de consumo de materia seca y digestibilidad de nutrientes. Los datos se analizaron mediante un modelo lineal mixto de primer y segundo orden, sin estructura de covarianza (varianzas y covarianzas diferentes entre los parámetros aleatorios). Se utilizó el procedimiento MIXED del programa estadístico de SAS y la matriz de parentesco fue incluida en el modelo mediante la opción LData del estamento RANDOM.

Para determinar la variabilidad genética en búfalos mediante evaluación genética utilizando información genealógica y productiva de las fincas, se estimaron los parámetros genéticos para características de crecimiento (peso al destete, peso a los 12, 18 y 24 meses) y características reproductivas (edad al primer parto e intervalo entre partos). Los componentes de varianza y parámetros genéticos fueron obtenidos por la metodología máxima verosimilitud restringida libre de derivada, utilizando modelos animales a través del programa Multi Trait Derivative Free Restricted Maximum Likelihood (MTDFREML).

Los resultados obtenidos en esta investigación se presentan a través de siete capítulos, los cuales se describen a continuación:

Capítulo 1. Usos y tendencias de las pruebas de desempeño y su aplicación en Colombia

Este capítulo corresponde a la revisión de literatura del proyecto. En él se analiza la importancia de las pruebas de desempeño en el mejoramiento genético. Se presentan los aspectos metodológicos a ser considerados, las características a evaluar, su análisis estadístico y su aplicación en Colombia.

Capítulo 2. Performance tests for buffaloes (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae) coming from meat and dual-purpose (meat-milk) preweaning management systems in Colombia

El objetivo de este capítulo fue analizar características de crecimiento con base en el peso, deposición de tejidos y medidas bovinométricas en búfalos provenientes de dos distemas de producción, CSO y DP. Igualmente, se indagó sobre la existencia de variabilidad fenotípica y genética para estas características. Las medidas bovinométricas fueron perímetro torácico (PT), altura a la cruz (AltC) y altura al sacro (AltS). Las medidas de ultrasonido fueron área del músculo *Longissimus dorsi* (AOL) y espesor de la grasa de la cadera (EGC). Se utilizó un modelo de regresión lineal mixto de primer y segundo orden, con matrices de varianzas y covarianzas sin estructura, teniendo en cuenta la matriz de parentesco entre los animales. Todas las características en los búfalos DP y EGC, AltC y AltS en CSO, presentaron un mejor ajuste al modelo de segundo orden. El peso, PT y AOL en CSO, se ajustaron a un modelo de primer orden. Las varianzas genéticas estimadas para los efectos de la regresión aleatoria diferentes de cero, sugieren que estas características pueden ser mejoradas genéticamente en Colombia.

Capítulo 3. Growth curves for buffaloes using random regression mixed models with different structures of residual variances

El objetivo de este capítulo fue analizar el crecimiento de los búfalos participantes de la primera PD desarrollada en Colombia, con base en el peso, deposición de músculo y grasa, mediante modelos mixtos con diferentes estructuras de varianzas residuales. Se evaluaron nueve estructuras de varianzas residuales, utilizando las funciones de varianza de la librería nlme, del programa R. Los modelos se estimaron utilizando todas las mediciones y eliminando las mediciones tomadas durante los primeros 28 días (período de adaptación: PA). Se observó heterogeneidad debido a la finca y al animal, lo cual es reflejo tanto del ambiente al cual fueron sometidos los animales antes de ingresar a la prueba, como al componente genético. Las estructuras de varianza evaluadas no eliminaron completamente la heterogeneidad de varianzas. Para peso, al excluir el PA del análisis, se obtuvo una mayor homogeneidad de varianzas, siendo adecuado el modelo donde se asumió homogeneidad de varianzas de residuales; para AOL, el modelo donde se consideró una varianza para cada animal, y para EGC, fue mejor

el modelo donde se tuvieron en cuenta las varianzas para cada finca y una varianza exponencial por edad.

Capítulo 4. Parámetros genéticos para características de crecimiento en búfalos (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae) en Colombia

En este capítulo se presentan los parámetros genéticos para peso al destete (PD), peso a los 12 (P12), 18 (P18) y 24 (P24) meses de edad, en poblaciones bufalinas en el trópico bajo colombiano. Las heredabilidades estimadas sugieren que la selección por crecimiento pre y posdestete es posible en esta población. La correlación genética encontrada entre los efectos directo y materno para PD, indicó un posible antagonismo entre genes para crecimiento y genes para habilidad materna. Los parámetros genéticos estimados indican que P12 puede ser utilizado como una herramienta de selección para el mejoramiento genético del crecimiento posdestete.

Capítulo 5. Componentes de covarianza y parámetros genéticos para peso vivo empleando modelos de regresión aleatoria en búfalos (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae) en Colombia

El objetivo de este capítulo fue estimar los componentes de (co)varianza y parámetros genéticos para peso vivo en poblaciones bufalinas en Colombia, empleando modelos de regresión aleatoria. Fueron empleados once modelos con polinomios de primer a sexto orden, para describir los efectos genético aditivo directo y materno, ambiente permanente del animal y materno. El mejor modelo presentó polinomios de cuarto y sexto orden para los efectos genético aditivo directo y ambiente permanente del animal, respectivamente, y polinomios de tercer orden para los efectos genético materno y ambiente permanente materno. Los resultados sugieren que la selección de búfalos por mayores pesos a cualquier edad promoverá mayores pesos desde el nacimiento hasta los 900 días de edad.

Capítulo 6. Parámetros genéticos para características reproductivas en una población de Búfalos (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae) en el Magdalena Medio Colombiano

En este capítulo se presentan los componentes de (co)varianza y parámetros genéticos para edad al primer parto (EPP) e intervalo entre partos (IEP) en una población bufalina en el Magdalena Medio Colombiano. La heredabilidad encontrada para EPP, sugiere que la selección por esta característica es factible en esta población. La heredabilidad para IEP indica que esta característica está muy influenciada por factores ambientales y genéticos no aditivos.

Capítulo 7. Características de eficiencia alimenticia y relaciones con el desempeño productivo de búfalos (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae) en crecimiento

En este capítulo se evaluaron diferentes parámetros de eficiencia alimenticia y sus relaciones con características de desempeño productivo en búfalos. Adicionalmente, se determinó la utilidad de las medidas de ultrasonido y digestibilidad de nutrientes en la explicación del consumo de materia seca (CMS). El consumo residual de alimento se presenta como una herramienta útil para identificar los búfalos más eficientes, sin alterar su desempeño productivo. Los dos parámetros utilizados en el modelo de Koch, peso metabólico y ganancia diaria de peso, explicaron en gran medida la variación del CMS. La adición de medidas de digestibilidad, especialmente de materia seca, mejoró sustancialmente el modelo, mientras que las medidas de ultrasonido no tuvieron impacto significativo sobre la predicción del CMS.

Capítulo 8. Reseña histórica sobre el desarrollo de las pruebas de desempeño

El objetivo de este capítulo, fue describir todos los aspectos metodológicos a considerar para la implementación y desarrollo de las pruebas de desempeño. Se hace un análisis sobre la ubicación, el sistema de alimentación (confinamiento vs

pastoreo), la dieta. Se presentan aspectos prácticos como el establecimiento y manejo de pasturas, construcción de instalaciones, manejo y amanse de los animales, elaboración de reglamento y convenios. Por último se presenta el proceso utilizado para la colecta de semen de los búfalos con mejor desempeño productivo en las prueba.

Este capítulo se escribió y publicó bajo las normas de la revista **LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN**

CAPÍTULO 1. Usos y tendencias de las pruebas de desempeño y su aplicación en Colombia¹

Diana María Bolívar Vergara² Mario Fernando Cerón-Muñoz³, Edison Julián
Ramírez Toro⁴ Divier Antonio Agudelo Gómez⁵

dmboliva@unal.edu.co

Resumen

Las pruebas de desempeño (PD) son un importante componente de los programas de mejoramiento genético en ganadería de carne en muchos países. Aunque se realizan desde hace mucho tiempo, algunos cuestionamientos son hechos sobre su universalidad. Existe poca uniformidad en las metodologías que aplican las estaciones de prueba, con un amplio rango de prácticas alimenticias y de manejo.

¹Artículo derivado del proyecto: “Pruebas de desempeño en Baby búfalo y búfalos doble propósito, en procura de seleccionar los mejores individuos para características relacionadas a la producción y rendimiento de carne”, realizado entre agosto de 2008 y diciembre de 2009 y financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la Universidad de Antioquia y la Asociación Colombiana de Criadores de Búfalos.

²Zootecnista, Magíster en Sistemas Agroforestales, docente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Es miembro del grupo de investigación en genética y mejoramiento Animal de la Universidad de Antioquia y realiza el doctorado en Ciencias Animales de la Universidad de Antioquia y la Fundación Universitaria San Martín.

³Zootecnista, PhD., miembro del grupo de investigación en genética y mejoramiento animal de la Universidad de Antioquia y docente de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia.

⁴Zootecnista, es miembro del grupo de investigación en genética y mejoramiento Animal de la Universidad de Antioquia y realiza la maestría en Ciencias Animales de la Universidad de Antioquia y la Fundación Universitaria San Martín.

⁵Industrial Pecuario, Magíster en Ciencias Animales, docente de la Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias de la Corporación Universitaria Lasallista, es miembro del grupo de Investigación Desarrollo y Transformación Agropecuaria.

La presente revisión tiene como objetivo analizar la importancia de las PD en el mejoramiento genético. Se presentan los aspectos metodológicos a ser considerados, las características a evaluar, su análisis estadístico y su aplicación en Colombia. Dadas las condiciones en que se desarrollan los sistemas de producción de carne en Colombia, las PD se presentan como una alternativa para iniciar el proceso de evaluación genética.

Palabras claves: ganado doble propósito, interacción genotipo-ambiente, mejoramiento genético, selección artificial.

APPLICATIONS AND TRENDS OF PERFORMANCE TESTS AND ITS APPLICATION IN COLOMBIA

Abstract

Performance tests (PT) are an important component of breeding programs in beef cattle in many countries. Although it has long done, some questions are facts about its universality. There is little uniformity in the methodologies applied by the test stations, with a wide range of dietary and management practices. This review aims to analyze the importance of genetic improvement in PT. We present the methodological aspects to be considered, to evaluate the characteristics, statistical analysis and its application in Colombia. Given the conditions in which they develop systems of beef production in Colombia, the PT are presented as an alternative to starting the process of genetic evaluation.

Key Words: artificial selection, dual purpose cattle, genetics Improvement, genotype-environment interaction.

Introducción

En los programas de mejora genética, uno de los aspectos críticos es la selección de los animales con mayor potencial genético para las características de interés. En especies para producción de carne, la identificación de los mejores individuos se basa en la evaluación genética mediante el análisis de bases de datos y modelos estadísticos complejos (datos provenientes de un número grande de hatos conectados) y el uso de pruebas de desempeño (PD), sometiendo a grupos de animales a las mismas condiciones ambientales. Estas pruebas permiten determinar cuales son los individuos que mejor expresan su potencial genético en términos de crecimiento y deposición de tejidos, para posteriormente ser utilizados como reproductores. Tanto el análisis de bases de datos, como las pruebas de desempeño, constituyen herramientas importantes y complementarias para el montaje de sistemas de evaluación genética entre hatos.

Para lograr un buen progreso genético se debe tener en cuenta dos aspectos fundamentales: la eficiencia y magnitud en la toma de datos fenotípicos y el registro genealógico, que permita establecer la conectabilidad genética de toda la información fenotípica recolectada. En muchos países se tienen limitantes para recolectar suficiente información de buena calidad, que permita realizar evaluaciones genéticas con buena confiabilidad. Las PD son una alternativa para iniciar la evaluación de características de importancia económica en ganadería de carne. Estas pruebas permiten evaluar los animales por su propio desempeño, siendo indicadas para características de media a alta heredabilidad, donde la producción individual indica con relativa precisión su valor genético; condición que cumplen muchas de las características de importancia económica en ganado de carne, además de su fácil medición en el animal ^{1,2,3}

Las PD han sido un importante componente de los programas de mejoramiento en ganadería de carne en muchos países. Estas han sido utilizadas como método de selección desde hace mucho tiempo. En Estados Unidos iniciaron desde 1930⁴, en Suráfrica en el año 1963¹, en Brasil en 1951⁵. Estas pruebas se presentan como una alternativa para iniciar un proceso de evaluación más complejo. Sin

embargo, estas se pueden seguir utilizando para complementar las pruebas de progenie.

Aunque estas pruebas se vienen realizando desde hace mucho tiempo, algunos cuestionamientos comienzan a ser hechos sobre su universalidad, debido a que existe poca uniformidad en las metodologías que aplican las estaciones de prueba, con un amplio rango de prácticas alimenticias y de manejo. ¿Cuál es la duración apropiada de la prueba?, ¿qué características debe tener la dieta utilizada?, ¿será posible eliminar completamente el efecto residual del hato?, ¿qué duración debe tener el período de adaptación?, ¿se presentará interacción genotipo- ambiente?, ¿las pruebas se deben desarrollar en pastoreo ó en confinamiento?. Estos son algunos de los cuestionamientos que se han planteado con relación a las PD, siendo importante discutir estos aspectos a partir de la información disponible y teniendo en cuenta las condiciones específicas de producción de carne en Colombia.

Dentro de los aspectos a tener en cuenta en el desarrollo de las PD en Colombia se resaltan: 1. Necesidad de evaluar la duración de la prueba y del período de adaptación, ya que la gran diversidad de sistemas de producción de carne existentes en el país, puede conllevar a un efecto significativo del hato origen por un largo período. 2. Dieta a utilizar, la cual debe ser de mediana calidad, para que no difiera ampliamente de la que se utiliza en los sistemas de producción, disminuyendo la posibilidad de presentarse interacción genotipo-ambiente. 3. Estas pruebas pueden ser realizadas bajo pastoreo ó confinamiento. En confinamiento se tiene un mayor control del ambiente y permite medir la eficiencia en la utilización del alimento, característica de alta importancia económica; sin embargo conlleva altos costos, lo cual puede limitar la implementación de estas pruebas en Colombia.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó la presente revisión con el objetivo de analizar y discutir la importancia de las PD en el mejoramiento de características de valor económico en bovinos de carne. Se presentan los aspectos metodológicos a considerar para la realización de estas pruebas, la metodología

utilizada en diferentes países, algunas consideraciones sobre las características que se pueden evaluar durante las pruebas, su análisis estadístico y su aplicación en Colombia.

Importancia de las pruebas de desempeño en el mejoramiento genético

La PD es un método de selección en el cual el animal es evaluado por su propio desempeño. Para esto, el grupo de animales a evaluar se tiene bajo las mismas condiciones ambientales, lo cual permite que la diferencia en el desempeño entre los animales, esté altamente relacionada con las diferencias genéticas. Este método es indicado para características de media a alta heredabilidad, donde el desempeño individual indica, con relativa precisión, su valor genético. Este requisito lo cumplen la mayoría de características de importancia económica en ganado de carne, además de su fácil medición en el animal^{1,2}. Para obtener la mayor correlación posible entre el valor de cría estimado y el real, la característica debe ser medida bajo condiciones donde mejor puedan ser controlados físicamente los efectos ambientales, lo cual se logra con las PD. Estas pruebas se pueden realizar sobre el propio animal independiente del sexo, antes de ser sometido a reproducirse o sobre su descendencia para recolectar los datos necesarios para ejecutar la prueba de progenie.

Las PD cumplen un papel muy importante cuando se inicia un programa de mejora genética. Al inicio, generalmente no se tiene buena conectabilidad genética de los datos provenientes de las diferentes explotaciones, perjudicando las evaluaciones entre hatos⁶. En Colombia este aspecto es muy importante, pues no se cuenta con suficiente información de alta calidad, que permita realizar evaluaciones entre hatos con buena precisión. En los sistemas de producción de bovinos de carne, es frecuente encontrar una baja implementación de programas de inseminación artificial, o en su defecto monta natural con paternidad responsable. Esta situación puede conllevar a que no se encuentre una buena conectabilidad genética entre los hatos. Además no existe un buen proceso de trazabilidad de los animales.

Muchas de las ganaderías solo hacen la fase de cría y venden sus animales para ser cebados en otros sistemas de producción, lo que conlleva a la pérdida de la continuidad del manejo de información, pudiéndose afirmar que nunca o pocas veces se registra la información post mortem de los animales para hacer evaluaciones de características de canal.

A nivel mundial, la aplicación de modelos mixtos sobre datos de genealogía y de desempeño, constituyen actualmente el proceso usual en la conducción de programas de evaluación genética de bovinos de carne. Con esta metodología se tiene la posibilidad de incrementar la exactitud con un mayor número de registros y de parientes, obteniendo valores genéticos de un alto número de animales. Sin embargo, en este tipo de evaluación se pueden tener problemas con respecto a la calidad de la información. Es necesario realizar una buena depuración de datos, ya que se pueden encontrar errores en las fechas de nacimientos, información faltante, pesos erróneos, entre otros. Las mediciones son tomadas por diferentes personas y tipos de básculas, con y sin ayuno de los animales, lo que puede inducir a errores en la realización de los pesajes. La persona encargada de realizar la evaluación genética, generalmente no es la que genera la información, por lo tanto, es necesario confiar en la ética y el conocimiento de los ganaderos y técnicos. Por el contrario, la información generada en las PD es de alta calidad y confiabilidad, ya que esta es tomada directamente por una persona objetiva y capacitada para ello. Además, estas pruebas presentan la ventaja de poder estimar el mérito genético del animal cuando es joven, viabilizando así su utilización precoz en el hato, lo cual conlleva a una disminución del intervalo generacional.

Dadas las condiciones en que se desarrollan los sistemas de producción de carne en Colombia, las PD se presentan como una alternativa para iniciar el proceso de evaluación genética, pudiendo ser utilizadas para iniciar las pruebas de progenie. A los animales con mejores desempeños en la prueba, se les puede recolectar semen, distribuirlo en diferentes fincas y así dar inicio a las pruebas de

progenie. En las PD se puede contar solo con la información del individuo, lo cual puede conllevar a una menor exactitud en la estimación de los valores genéticos, en comparación con las evaluaciones donde se considera la genealogía, además de obtener valores genéticos únicamente de los animales que participan en las pruebas. No obstante, en estas pruebas también se puede evaluar parientes utilizando la matriz de parentesco, además de incrementar la exactitud en la predicción de los valores genéticos de los animales.

Tradicionalmente las PD han sido enfocadas para evaluar machos, debido fundamentalmente a la mayor capacidad de este para dejar descendencia. Con el avance en la biotecnología reproductiva en bovinos, el aporte genético de las hembras es relevante. En este sentido, se debe considerar la posibilidad de someter hembras a PD en condiciones similares a las que se realizan en machos.

Por último, es importante resaltar la importancia que tiene la participación de los criadores. Independiente de la metodología utilizada para realizar la evaluación genética, es necesario el compromiso de todos los productores que trabajan en el sector cárnico. Es necesario que los mejoradores y productores tengan criterios únicos y consistentes para que todo el gremio esté orientado hacia un mismo camino. En el caso de las PD se requiere un gran compromiso de parte de los ganaderos en el sentido de financiar los costos que conllevan la prueba por cada animal evaluado. Sin embargo, las ventajas que representan estas pruebas en términos de poner a disposición toros probados son grandes. Animales evaluados y que obtengan buenos valores genéticos, alcanzan mayores precios. Utilizar animales que tengan una buena ganancia de peso, alcanzando el peso al sacrificio más rápidamente, con una buena conversión alimenticia y una adecuada deposición de músculo y grasa, permiten obtener una mayor rentabilidad.

Características a evaluar en las pruebas de desempeño

Durante el desarrollo de las primeras PD se enfatizó sobre el promedio de ganancia diaria de peso desde el destete hasta un año de edad, debido a la

importancia económica de esta característica. Actualmente, algunos países como Japón⁷ y Estados Unidos⁸ incluyen peso por día de edad, la cual es en parte una característica materna. También se han incorporando otras características importantes como consumo de alimento^{1,7,9}; conversión alimenticia^{7,9}; medidas bovinométricas y de tipo^{10,11,12}; deposición de diferentes tejidos utilizando la técnica de ultrasonido^{11,12,13}, y algunas evaluaciones para el potencial reproductivo de los machos que pueden ser extrapoladas a las hembras, como perímetro escrotal^{7,10, 11,12}. En las PD se pueden evaluar características de gran importancia económica como la conversión alimenticia, la cual no es posible medir bajo las condiciones en que se desarrollan los sistemas de producción de carne en Colombia. El tiempo, esfuerzo y costos involucrados en el desarrollo de estas pruebas pueden ser bien justificados, si muchas características rentables pueden ser identificadas.

Tasa de crecimiento. La mayoría de investigaciones han evidenciado que el peso corporal a diferentes edades presenta de media a alta heredabilidad^{2,15,16}. La implicación de esto, es que se pueden obtener medidas seguras con base en el desempeño individual. Además, existen altas correlaciones genéticas entre pesos tomados a diferentes edades, por lo tanto la selección por peso a cualquier edad contribuye, de manera efectiva, al aumento del tamaño corporal^{2,15}. La frecuencia con que se realizan los pesajes durante las pruebas difiere ampliamente entre países. En Canadá y Suráfrica, realizan pesajes semanalmente^{1,17}, mientras que Brasil sólo realiza tres pesajes (al inicio y al final de la prueba, con un peso intermedio a los 56 días)⁶ y en Colombia, en ganado cebú, se realizan pesajes cada 56 días¹⁸. Actualmente se vienen desarrollando las primeras PD de búfalos en Colombia bajo confinamiento realizando pesajes cada 14 días.

Eficiencia en la conversión alimenticia. Aumentar la eficiencia alimenticia contribuye a reducir significativamente el costo de producción de carne^{9,17}. Estudios de eficiencia en bovinos han demostrado que la selección de animales que consumen menos para el mismo peso y la misma ganancia, resulta en

progenies divergentes para esa misma característica, indicando que existe variación genética en la utilización de nutrientes¹⁹.

Las diferencias entre animales con la misma dieta son explicadas por diferencias en la capacidad de crecimiento de tejido magro, en las proporciones relativas entre el tejido magro y el graso, en la eficiencia en la síntesis de proteína y grasa, en los requerimientos para mantenimiento, en la eficiencia del tracto digestivo y en el consumo de alimento en relación al tamaño de los animales^{20,21,22}. La eficiencia en la conversión alimenticia es la característica de más difícil evaluación, exigiendo alimentación individualizada, siendo posible en pruebas en confinamiento. En pastoreo se puede evaluar mediante el empleo de métodos indirectos, que involucran la cuantificación simultánea de la producción fecal diaria y la digestibilidad del alimento^{23,24, 25 ,26}, siendo necesaria la utilización de indicadores, externos o internos.

En países como Estados Unidos, Canadá y Suráfrica, están evaluando conversión alimenticia y consumo residual de alimento^{1,7,9,17}, como medidas de eficiencia de la utilización de los alimentos. En Suráfrica, realizan mediciones de consumo de alimento semanalmente¹, mientras que en Canadá las realizan diario, utilizando el sistema GrowSafe¹⁷, tecnología que permite identificar los animales con mayor crecimiento, menor consumo de alimento, menores tratamientos médicos, además de identificar animales que está listos para el sacrificio, sin causar estrés en el animal.

En países donde la ceba se realiza bajo sistemas de confinamiento, utilizando dietas de alta calidad y costosas, las medidas de eficiencia en la utilización de los alimentos (conversión y consumo residual de alimento) están cobrando más importancia que la ganancia de peso. En Colombia, donde la ceba se realiza principalmente bajo pastoreo, el costo del alimento no es tan limitante, como si lo pueden ser otros costos de producción que se incrementan cuando el proceso de ceba es más largo. En estos sistemas se requiere de animales que ganen más peso, alcanzando el peso al sacrificio más rápido, aunque su consumo de forraje

sea más alto. El costo financiero del inventario y el costo de oportunidad de la tierra, sumado al costo por mano de obra, vacunas, entre otros, pueden tener un mayor peso en los costos de producción, que el alimento.

Calidad de la canal. Las características de canal y calidad de la carne están cobrando mucha importancia en los programas de mejoramiento genético. Dentro de las características a tener en cuenta está el rendimiento en canal y en carne, terneza de la carne y deposición de grasa y músculo; siendo estas últimas dos características frecuentemente medidas en las PD, utilizando el ultrasonido^{27,28,29,30}. Según Sainz y Araújo (2002)²⁸, para la evaluación genética de la calidad de la canal, el ultrasonido presenta muchas ventajas. 1. Permite la evaluación precoz de los animales para selección sin necesidad de sacrificio y los resultados están disponibles antes de ponerlos a servir como reproductores. 2. El costo de evaluación individual es bajo. 3. En bovinos las características de la canal tienen heredabilidad de media a alta y en algunos casos las medidas de ultrasonido son superiores a las medidas directas.

La técnica de ultrasonido permite medir el espesor de la grasa dorsal (EGD), el área del ojo del lomo (AOL), el cual es un buen indicador del rendimiento en carne del animal, profundidad del lomo y del bíceps femoral³¹, grasa de la cadera (P8) y marmoreo³². Diferentes trabajos han reportado altas correlaciones entre las medidas obtenidas por ultrasonido y las tomadas directamente en la canal^{33,29,34,35}. Estas características son de media a alta heredabilidad, pudiendo ser incluidas en las PD, midiendo la deposición de músculo y grasa con la técnica de ultrasonido y otras características como terneza de la carne, a través de marcadores moleculares. Estas mediciones se vienen realizando en las PD en diferentes países. En Brasil se evalúa AOL, EGD y P8, en Estados Unidos y países de Europa, evalúan además el marmoreo³⁶.

Medidas bovinométricas. Varios estudios subtropicales y tropicales sugieren el uso de medidas corporales para complementar el proceso de selección del ganado de carne en el trópico³⁷. En la evaluación de la composición del bovino tipo carne se han utilizado además del peso como predictor del crecimiento, altura

al sacro, longitud corporal y perímetro torácico³⁸. Estas medidas han ayudado a esclarecer diferencias productivas sobre el biotipo cebuino tropical más adecuado para la producción de carne en Colombia³⁷. Medidas corporales son realizadas en las PD en países como Brasil, Estados Unidos (“Frame score”), países de Europa (imágenes digitales)³⁶ y Suráfrica¹.

Características reproductivas. Se deben incluir todas las evaluaciones del potencial reproductivo que puedan ser hechas en los toros, según la edad en que participan en estas pruebas. Durante los últimos años se ha incluido la circunferencia escrotal (CE), la cual está asociada al desarrollo testicular, a características físicas y morfológicas del semen y pueden considerarse como una característica indicativa de la edad a la pubertad en machos, presentando también correlación genética favorable con la edad a la pubertad en las hembras³⁹. Teniendo en cuenta que esta característica es importante en la evaluación reproductiva y su fácil medición, países como Estados Unidos y Canadá⁷, Suráfrica¹ y Brasil³⁶, la incorporaron en las PD^{7,1}. Sería adecuado incluir en las PD, la evaluación de la calidad del semen, desafortunadamente, teniendo en cuenta la edad a la cual terminan los animales las pruebas en muchos países (11-14 meses), pocos animales serán capaces de producir semen de calidad aceptable.

Características de tipo. Toros con altas ganancias y altos pesos al final de las pruebas, deben ser sometidos a análisis físicos cuidadosos. Si presentan algunos problemas de conformación, de patas por ejemplo, puede limitar la vida útil del toro y algunas de estas condiciones limitantes de longevidad, pueden ser pasadas a su descendencia. Adicionalmente, en algunos países como Colombia y Brasil, se evalúan características de tipo como caracterización racial, musculatura, esqueleto, ombligo, entre otras^{18,12}. El problema de este tipo de características radica en que su evaluación es subjetiva. Además es importante determinar cuales de estas características, realmente tienen relación con características productivas.

Aspectos a tener en cuenta en el desarrollo de pruebas de desempeño

Aunque las PD se vienen realizando desde tiempo atrás, muchos cuestionamientos comienzan a ser hechos sobre su universalidad. Existe poca uniformidad en las metodologías que aplican todas las estaciones de prueba, con un amplio rango de prácticas alimenticias y de manejo. Se debe buscar un modelo adecuado y consolidado de pruebas para los países tropicales como Colombia, teniendo en cuenta sus condiciones de producción, razas y los objetivos del programa de mejoramiento genético. A continuación se analizarán cada uno de los aspectos que deben ser tenidos en cuenta en la realización de estas pruebas.

- **Período de adaptación**

Uno de los aspectos más importantes en la conducción de PD es la eliminación de los efectos del ambiente al que estuvieron sometidos los animales antes de ingresar a las pruebas. Los animales provienen de diferentes explotaciones, por lo tanto, están sujetos a variaciones de alimentación y manejo entre las diferentes haciendas, además de existir diferencias debido al efecto materno. Estos factores pueden conllevar a obtener resultados erróneos en las PD. A ese conjunto de diferencias se denomina efecto residual del hato origen (HO), el cual se busca minimizar con el período de adaptación. La validez de las PD ha sido cuestionada debido a la permanencia de este efecto durante el desarrollo de las pruebas³. Diferentes estudios han mostrado efectos importantes del HO sobre el desempeño de los toros en las pruebas, después del período de adaptación^{40,41,42,43} y la existencia de correlaciones negativas entre ganancias de peso pre y posdestete, indicando ganancia compensatoria en la prueba^{41, 44,45}.

Schenkel *et al.* (2004)³ y Nephawe *et al.* (2006)¹, argumentaron que el efecto del ambiente predestete sobre el desempeño durante las pruebas, debe ser tenido en cuenta usando un modelo multicaracterístico, que incluya características predestete (con los efectos: materno y HO-año) y características medidas al final de la prueba.

Con respecto al efecto del HO, se han reportado resultados variables. Liu y Makarechian (1993)⁴³, encontraron que este efecto fue responsable de una alta proporción de la varianza fenotípica del peso, disminuyendo de 52 a 35% y de 37 a 30% desde el inicio hasta al final de la prueba para razas pequeñas y grandes, respectivamente. Schenkel et al. (2002)⁴⁰ encontraron una variación asociada a la interacción entre HO y el año en que se realizó la prueba (HO-año) cercana al 8%, desde el inicio hasta el final de la prueba. Estos autores encontraron que la ganancia diaria de peso (GDP) hasta los 112 días y durante la prueba completa (140 días) fue similarmente afectada por el efecto HO-año. Para el caso particular de los datos analizados por estos autores, aumentar el período de adaptación, aparentemente no reduciría este efecto. Nephawe et al. (2006)¹ encontraron que la proporción de la varianza fenotípica atribuible al efecto del HO-año fue de 9, 10, 6 y 5% para GDP, consumo diario de alimento, altura a la cruz y CE, respectivamente. Mantovani et al. (1999)⁴⁶, también reportaron un importante efecto del HO en todas las razas investigadas (Chianina, Marchigiana y Romagnola). El efecto de HO-año, se debe principalmente al efecto de la habilidad materna y a diferencias ambientales (por ejemplo alimentación y prácticas de manejo).

Schenkel et al. (2004)³, encontraron que al incluir el efecto HO-año en el modelo, este mejora sustancialmente. La heredabilidad para GDP durante la PD, es mayor cuando en el modelo no se tiene en cuenta este efecto, indicando que parte de este, fue atribuido al efecto genético directo. Igualmente, Mantovani et al. (1999)⁴⁶, encontraron una disminución de la heredabilidad para dos de las tres razas consideradas, cuando el efecto HO fue incluido en el modelo. También Schenkel et al. (2004)³, Nephawe et al. (2006)¹ y Mantovani et al. (1999)⁴⁶, encontraron que existe una reclasificación de los toros superiores, cuando se tiene en cuenta el efecto HO-año en el modelo.

Schenkel, et al (2004)³ afirmaron que el efecto HO-año es de naturaleza ambiental y no es debido al efecto materno y al ambiente permanente. Estos autores

reportaron unas correlaciones ambientales entre ganancia de peso predestete y ganancia de peso posdestete (en las PD) cercanas a cero (entre 0,02 y 0,03) y no significativas, para los modelos con y sin el efecto HO-año. Esto sugiere que no fue importante la ganancia de peso compensatoria durante la PD, después de los 28 días de adaptación, para aquellos terneros que no se desarrollaron bien hasta el destete, debido a pobres condiciones ambientales dentro de hato-año. Resultados similares fueron reportados por Nephawe et al. (2006)¹ para las características evaluadas (GDP, consumo diario de alimento, altura a la cruz y circunferencia escrotal).

Otros autores han reportado correlaciones ambientales negativas entre la GDP predestete y durante la PD, con valores entre -0.08 y -0.30, con un promedio de -0.19 (De Rose et al. 1988)⁴⁵ y entre -0.23 y -0.62 (Tong, 1982)⁴⁴, para diferentes razas. Estas correlaciones ambientales negativas, sugieren que los animales que no tienen un buen desempeño durante el período predestete en el HO, debido a limitaciones en el manejo, compensan con una mayor GDP durante la prueba, especialmente al inicio de esta y que el período de adaptación no removió completamente esta fuente de variación. Bajo estas condiciones se puede limitar la evaluación, ranqueo y selección de toros procedentes de diferentes hatos, con base en los resultados obtenidos en las PD. Sin embargo, es importante anotar que estos autores utilizaron un modelo toro y no tuvieron en cuenta el efecto vaca, mientras que Schenkel, et al (2004)³ y Nephawe et al. (2006)¹, utilizaron un modelo animal, incluyendo el efecto vaca (efecto materno y ambiente permanente).

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede afirmar que una de las mayores dificultades encontradas en la realización de las PD, es conciliar el periodo de tiempo suficiente para que los efectos del ambiente anterior a la prueba puedan ser minimizados, de forma que permita la correcta identificación de las diferencias genéticas individuales. Generalmente, cuanto menor sea la variación del peso de los animales al inicio de la prueba, menores serán los efectos del ambiente anterior a la misma y, por lo tanto, mayor será la garantía de éxito en su

realización². Sin embargo, es importante tener en cuenta que la variación en el peso de los animales al iniciar la prueba es consecuencia, tanto de las diferentes condiciones ambientales a las que han sido sometidos los animales, como de las diferencias genéticas, siendo imposible separar ambos componentes. Los animales que provienen de fincas que tienen una alta presión de selección, tendrán mayores pesos a una misma edad, que animales que provengan de fincas donde no se tenga un programa de selección; diferencias que pueden permanecer a lo largo de la prueba.

Con el fin de minimizar la variación del peso al inicio de las pruebas, algunas medidas que pueden ser tomadas son: a). Reducción en la variación de la edad de los animales, siendo la máxima diferencia permitida entre 60 y 90 días. b). Preselección de los individuos participantes con base en sus desempeños en los respectivos grupos contemporáneos en los hatos de origen, llevando los mejores animales a las PD. Los criterios a tener en cuenta en la preselección dependen del sistema de producción al cual pertenecen los animales. En el caso de cría sin ordeño, se debe tener en cuenta la ganancia de peso predetete y/o peso al destete. Para los sistemas doble propósito, además de las características anteriores, se debe tener en cuenta la producción de leche de la madre, lo cual se facilita en países que cuenten con programas de control lechero. c). Animales provenientes de sistemas de producción similares. Cuando la especie se maneja bajo diferentes esquemas de producción, como cría sin ordeño y doble propósito, se deben realizar pruebas independientes para los animales provenientes de cada uno de estos sistemas.

La duración del período de adaptación es motivo de mucha controversia y varía ampliamente entre países. En Francia este período es de 56 días⁴⁷, mientras que en Canadá y en Suráfrica, es de sólo 28 días^{43,3,1}. En Colombia, en las pruebas realizadas por la Asociación de criadores de ganado Cebú, es de 70 días¹⁸. En Brasil, según lo descrito por Tundisi et al. (1962), citado por Razook et al. (1997)⁶ cuando iniciaron las pruebas de ganancias de peso para ganado vacuno, el

período de adaptación era de 14 días. Para el año 1978, aumentaron el período de adaptación a 56 días, duración que persiste actualmente en las pruebas de confinamiento⁶. En este país, la Asociación Brasileira de Criadores Cebú, realizan pruebas de ganancias de peso a pasto con un período de adaptación de 70 días⁴⁸ y en confinamiento con un período de adaptación de 56 días⁴⁸. Cada país debe generar su propio período de adaptación para cada especie, raza y sistema de manejo.

- **Duración de la prueba**

La duración de la prueba es un aspecto muy importante a tener en cuenta, ya que pruebas largas implican altos costos de administración y alimentación, además de la posibilidad de probar menos animales. Se debe identificar la duración apropiada de la prueba para reducir los costos de medición, sin comprometer la precisión y confiabilidad de los resultados¹. La duración de estas pruebas, es un tema muy controvertido y en gran parte, depende del sistema de producción.

La duración de la prueba ha ido cambiando con el tiempo. Warwick en 1958⁴, realizó un resumen de las condiciones y resultados obtenidos durante 50 años en el Estado Central en USA. Cuando iniciaron las pruebas (hasta el año 1920), la duración era de 216 días. Entre los años 1921 y 1940, la prueba duraba 192 días en promedio y entre 1941 y 1957, 174 días. Posteriormente, se consideró que la duración de la prueba adecuada para evaluar las ganancias de peso era 112 días^{49,50}. Archer et al. (1997)⁵¹ y Archer y Bergh (2000)⁵², sugieren que 70-84 días de prueba es adecuado para obtener una medida precisa del consumo residual de alimento en toros de razas británicas y de otros tipos biológicos. Así mismo, en la Estación Central en Ontario Canadá, la duración de la prueba hasta el año 1995 era de 140 días y después de 112 días³. En Suráfrica, hasta 1990 las pruebas tenían una duración de 140 días, a partir de este año las redujeron a 112 días y posteriormente, a partir de 1999, las recortaron a 84 días¹. En Francia, la duración de la prueba es de 126 días⁴⁷, mientras que en Canadá es de 140 días⁴³. Las

pruebas realizadas por la Asociación de criadores de ganado Cebú en Colombia, tienen una duración de 294 días¹⁸.

Durante las primeras pruebas realizadas en Brasil, las cuales iniciaron en el año 1951, la duración era de 140 ó 154 días en confinamiento. A partir del año de 1958 las pruebas fueron reducidas a 140 días (Tundisi et al. 1962, citado por Razook et al 1997)⁶. Después del año 1978, el período de la prueba fue de 168 días (Razook et al.1978, citado por Razook et al 1997)⁶, con pesajes intermedios cada 28 días, duración adoptada actualmente en la estación experimental de Zootecnia de Sertãozinho, pero con la realización de solo un pesaje intermedio a los 56 días⁶. La Asociación Brasileira de Criadores Cebú, realizan pruebas de ganancias de peso en pastoreo, con una duración de 294 días. Las pruebas en confinamiento realizadas por la Asociación Brasileira de Criadores Cebú, siguen los mismos delineamientos que en la estación experimental de Zootecnia de Sertãozinho⁴⁸.

En términos generales se puede afirmar que mientras más controladas se tengan todas las variables ambientales durante el desarrollo de las PD, más temprano podrán ser identificadas las diferencias entre animales debido al componente genético, por lo tanto las pruebas podrán tener menor duración. En las pruebas en confinamiento donde se tiene la posibilidad de ofrecer una dieta más homogénea, donde los animales no tienen que desplazarse para tener acceso al alimento y al agua, o en búsqueda de sombra, las pruebas pueden ser más cortas. En pruebas en pastoreo, la dieta es menos homogénea, hay un componente individual importante como es la selectividad que tengan los animales, además de existir una mayor competencia entre ellos. Esto conlleva a una mayor duración en este tipo de pruebas, como las que realizan las Asociaciones Cebuistas de Colombia y Brasil.

Wang et al (2006)¹⁷, determinaron la duración óptima de la prueba para GDP, consumo de materia seca, conversión alimenticia y consumo residual de alimento, utilizando el sistema GrowSafe, el cual permite medir con alta precisión estas características. Los pesos se tomaron semanales y el consumo de alimento se

midirá diariamente. Dichos autores determinaron que con una duraci3n de 63, 35, 42 y 63 días para evaluar GDP, consumo de materia seca, eficiencia de la conversi3n alimenticia y consumo residual de alimento, respectivamente, es suficiente con poca p3rdida en la precisi3n. Igualmente, afirmaron que la adici3n de m3s pesos vivos, posiblemente, no reduzcan la variaci3n residual no explicada. Castilhos et al (2008)⁵³ realizaron un trabajo similar en machos de la raza Nelore reci3n destetados sometidos a PD en el Instituto de Zootecnia de Sertãozinho durante 112 días. Encontraron que el periódo de evaluaci3n para estas cuatro característicás puede ser reducido a 56, 28, 84 y 84 días, respectivamente, sin reducir significativamente la precisi3n de las evaluaciones para animales alimentados en corrales individuales.

- **Edad y peso al inicio de la prueba**

Los efectos de la edad y peso inicial sobre el desarrollo de los animales, a lo largo de la prueba, son controvertidos, pudiendo ser confundidos con los efectos residuales de la hacienda de origen o con el efecto materno².

El peso inicial difiere en los diferentes países y ha ido cambiando a través de los años. En la Estaci3n Central en Ontario, Canadá la edad promedio es de 212 ± 23 días, con una diferencia máxíma de 90 días, siendo la máxíma 280 días. El mínimo peso recomendado es de 181 kg.³ En Suráfrica, la edad está entre 151 y 250 días, con un rango de peso permitido, dependiendo de la raza. Para la raza Bonsmara está entre 220 y 270 kg¹.

En Brasil, durante las pruebas realizadas hasta 1978, la edad inicial variaba entre 8 y 12 meses. Razook et al (1978 a b), citado por Razook et al 1997⁶, analizaron los datos de las pruebas de 1970 a 1975 de las razas Gir, Nelore y Guzerá y comprobaron la influencia de la variaci3n del peso y edad inicial sobre los desempeños de los animales en relaci3n a los pesos finales, los cuales eran ajustados a 460 días. Teniendo en cuenta estos resultados, redujeron la edad inicial a 7 meses en promedio, con una variaci3n de tres meses (6 a 8 meses), ajustando el peso de entrada a la prueba a 210 días.

En Colombia, la variación máxima de edad es de 60 días y la edad de inicio está entre 8 y 15 meses¹⁸. En Canadá la diferencia máxima permitida entre animales es de 90 días, con edades entre 181 y 307 días⁴³. En Brasil, la Asociación Brasileira de Criadores Cebú manejan una edad de ingreso a las pruebas, a pastoreo y confinamiento, entre 7 y 10 meses. Para evaluar hijos de vacas participantes del control lechero oficial (pruebas para animales de doble propósito), la edad de ingreso es de 10 a 13 meses⁴⁸.

Aunque los animales ingresen a la prueba con una edad semejante, pueden existir altas diferencias en sus pesos iniciales. Esto ocurre en países como Colombia, donde existe una gran diversidad de climas, fertilidad de suelos, pastos y prácticas de manejo dentro de los sistemas de producción. Adicionalmente, existen ganaderías con alta trayectoria donde se lleva a cabo algún proceso de selección, mientras otras son nuevas y no cuentan con un programa de selección.

Más dramática puede ser la situación de los animales que provienen de sistemas doble propósito. Dentro de estos sistemas existe una gran diversidad en el manejo del ordeño, lo cual afecta directamente el desarrollo de los terneros. En algunas ganaderías el ordeño se inicia más temprano. Se puede dejar o no un cuarto a los terneros durante el primer mes de vida ó hacer un ordeño profundo. Se ordeña la vaca hasta el momento del destete, o se deja de ordeñar un tiempo antes de este para favorecer al ternero. Estas diferencias pueden tener efecto a lo largo de las pruebas. Por ejemplo, en el caso de terneros que sus madres hayan sido sometidas a un sistema de ordeño más profundo, se pueden analizar tres situaciones. 1. Debido a la alta restricción en el amamantamiento, estos se vean obligados desde temprana edad a consumir forraje, lo cual puede favorecer el desarrollo temprano de su rumen y acostumbrarse a estar solos, por lo tanto presentar menos estrés al momento del destete. Estas situaciones pueden favorecer el desempeño de los animales cuando ingresan a las pruebas, debido a que pueden aprovechar mejor el alimento ofrecido y afrontar mejor el destete. 2. Se puede presentar crecimiento compensatorio, el cual podrá o no ser eliminado

durante el período de adaptación. 3. Si la restricción alimenticia es muy severa, puede afectar el crecimiento del ternero de una manera definitiva.

- **Calidad de la dieta**

Existen diferencias de opinión en cuanto a la calidad de la dieta que debe ser suministrada en las pruebas, existiendo dos posiciones contrarias:

1. La dieta debe ser adecuada para establecer correctamente la habilidad de los animales para ganar peso. Cuando se limitan las condiciones ambientales, como una baja oferta alimenticia, se hace más difícil encontrar variabilidad genética. Cuando se quiere tratar de inferir la capacidad genética de un animal para ganar peso, se debe garantizar hasta donde sea posible, que el alimento o el ambiente en general no sea limitante para esta expresión. Las dietas para las PD deben cumplir con este requisito. Según lo anterior, la dieta debe satisfacer los requerimientos nutricionales de los animales, los cuales dependen de su capacidad de producción, en este caso de carne. Las PD están diseñadas para tratar de predecir precisamente esa capacidad de producción; en este sentido no se conocen los requerimientos reales de los animales, por lo tanto, sería imposible definir la dieta exacta para un animal según su patrimonio genético.

2. Las dietas no deben divergir ampliamente de las que se utilizará en la descendencia de los animales probados. Si se utilizan dietas de alto valor nutritivo, es posible que se presente una interacción genotipo-ambiente, es decir que probablemente la descendencia de los mejores animales, bajo unas condiciones específicas de alimentación, no tengan un buen desempeño bajo otras condiciones. En países o regiones, como Estados Unidos y Europa, donde la ceba se realiza bajo confinamiento, ó en su defecto en pastoreo con pastos de alto valor nutritivo más suplementación, es muy poco probable que se de esta interacción. Situación muy diferente ocurre en países como Colombia, donde la producción de carne se desarrolla en pastoreo, con pastos de mediana y baja calidad y sin

suplementación (en algunos casos en bajos niveles). Adicional a la dieta ofrecida, es importante tener en cuenta los aspectos sociales, anatómicos y fisiológicos que determinan la capacidad de pastoreo, lo cual se ve reflejado en la capacidad para ganar peso. Bajo este escenario, si existe una alta probabilidad de que se presente interacción genotipo-ambiente.

Algunos aspectos más específicos que se deben tener en cuenta para tomar la decisión sobre la dieta a utilizar en este tipo de pruebas son: 1) Edad y peso de los animales al ingresar a la prueba. Si se someten a la prueba animales más jóvenes se requieren dietas de mayor concentración de nutrientes y más altas en proteína. Animales de cría sin ordeño requerirán dietas de mejor calidad que aquellos que proceden de hatos doble propósito. 2) Periodo de adaptación necesario para eliminar el efecto residual del hato origen. Cuando se comparan en el mismo grupo, animales provenientes de hatos con bajas condiciones ambientales, con animales provenientes de hatos con muy buenas condiciones, una dieta de mejor calidad puede reducir el tiempo de crecimiento compensatorio. 3) Duración de la prueba. Actualmente se busca realizar pruebas de corta duración (menores costos), y que su vez permita tener resultados con buena precisión^{17,53}. Lo anterior se puede lograr con dietas con altos niveles de energía. Generalmente, se reportan estimativos de heredabilidad para ganancias de peso posdestete más bajos en pruebas en pastoreo con dietas con una alta proporción de forraje, que en pruebas realizadas con altos niveles de concentrado en la dieta⁵⁴. Esto puede ser debido a un bajo consumo de energía para permitir la mayor expresión de las diferencias genéticas⁵⁴. Sin embargo, el uso de dietas con altos niveles de energía puede conllevar a problemas reproductivos. Problemas en la espermatogénesis, presencia de laminitis subclínica, disminución en la libido, han sido reportados en animales que han sido sometidos a sobrealimentación por largos períodos⁷. Esta situación es muy poco probable que ocurra en países tropicales, como Colombia, teniendo en cuenta sus condiciones de producción. Teniendo en cuenta lo

anterior, se puede afirmar que para cada prueba será necesario analizar las condiciones específicas para tratar de identificar la dieta más adecuada.

Otro aspecto a tener en cuenta es que los animales al llegar a la estación de prueba enfrentan condiciones de estrés. Requieren conocer el sitio, aprender a comer otro tipo de alimentos, socializarse con un grupo de animales diferentes, enfrentar el encierro. Lo más probable es que los animales cuando ingresan a la estación de prueba disminuyan el consumo total de alimento, por lo cual es adecuado ofrecer un alimento con mayor concentración de nutrientes para que el animal enfrente con mayor probabilidad de éxito dichas condiciones estresantes.

Existe un amplio rango de dietas utilizadas en las pruebas. Niveles de nutrientes digestibles totales usadas para toros en crecimiento están entre 60 y 80%⁸. Se puede hablar de diferencias generales según las condiciones en que se desarrollan los sistemas de producción en cada país. En Brasil, utilizan dietas con un valor nutritivo similar a la de un pasto de mediana calidad. En Estados Unidos y Europa, se utilizan dietas de alta calidad y balanceada de acuerdo a las exigencias de cada raza, permitiendo obtener máximas ganancias de peso³⁶. El 97% del hato bovino de Brasil es manejado exclusivamente en pastoreo con algún tipo de suplementación mineral, con pastos de baja y mediana calidad. Mientras que Estados Unidos y Europa, la producción bovina se maneja en confinamiento suministrando dietas con una alta proporción de concentrado y pastos de alto valor nutricional.

- **Sistema de alimentación**

Uno de los aspectos que generan más controversia en el desarrollo de PD, es si estas deben ser conducidas bajo confinamiento ó en pastoreo. En este sentido es importante analizar las ventajas que presentan cada uno de estos sistemas. En las pruebas bajo confinamiento se obtiene un mayor control de las variables ambientales, se tiene un mayor conocimiento acumulado sobre el desarrollo de este tipo de pruebas, se puede medir características relacionadas con eficiencia

alimenticia y es indicada para evaluar características en la fase prepúber. En las pruebas bajo pastoreo, se necesita menos infraestructura, se tienen menos costos por animal evaluado, es indicada para evaluar características en la fase de la pubertad y posterior, se obtiene una menor interacción genotipo-ambiente y los animales presentan una edad más adecuada para la comercialización al finalizar la prueba.

Dentro de los aspectos mencionados, es importante hacer especial énfasis a la interacción genotipo ambiente. La duda más común entre mejoradores y ganaderos y motivo de controversia, es si en países como Colombia, con sistemas de explotación de carne en pastoreo, las PD conducidas en confinamiento pueden reflejar el desempeño de los animales. Algunos autores en la década de los 40, opinaban que los animales debían ser seleccionados en ambientes favorables, donde sea posible la expresión plena de la característica en evaluación². Posteriormente, Falconer y Mackay (1960)⁵⁵, afirmaron que existen varios potenciales genéticos, dependiendo del ambiente de explotación, lo cual indica que las pruebas deben ser realizadas en ambientes en que las progenies de los reproductores serán manejadas.

La posible interacción genotipo-ambiente, implica que los animales superiores en la PD en confinamiento, no necesariamente sean los superiores en condiciones de pastoreo. Desde la década de los 60 se verificó que la ganancia de peso de los terneros a pasto estaba relacionada positivamente con la ganancia registrada en confinamiento de sus padres⁵⁶. Sin embargo, todos los trabajos se referían a hatos europeos, en clima templado, donde se manejan sistemas de producción intensivos con especies forrajeras de alto valor nutritivo. Faltaba, sin embargo, datos sobre el desempeño de hatos tropicales.

El país tropical que más ha desarrollado y evaluado las PD es Brasil. En este país se ejecutan pruebas bajo los dos sistemas (confinamiento y pastoreo) en diferentes instituciones. En la Estación Experimental de Zootecnia de Sertãozinho, se realiza la selección de un hato Nelore desde el año 1976 con base a dos

criterios. 1. En los machos por peso al año corregido para 378 días de edad (P378) (por PD en confinamiento) y 2. En las hembras por peso corregido a los 550 días de edad (P550) (evaluadas en pastoreo). Mercadante et al. (2007)⁵⁷ no encontraron la presencia de interacción genotipo-ambiente entre los grupos de animales mencionados anteriormente. Este hecho le da credibilidad a la escogencia de toros para reproducción evaluados en confinamiento y cuyas progenies estarán en sistemas de pastoreo. Igualmente, en la Universidad Estadual de San Pablo en Botucatú, han observado que los toros que sobresalen en las pruebas realizadas en pastoreo, son los mejores en las pruebas en confinamiento (Ramos, comunicación personal)⁵⁸.

Otro aspecto importante a resaltar es la precisión que se obtiene en la evaluación genética de los animales bajo los dos sistemas. Investigaciones han mostrado que la heredabilidad para crecimiento en condiciones de pastoreo es más baja⁵⁴, debido a que se tiene un menor control de las variables ambientales. Bajo estas condiciones se presenta una mayor variación en la dieta ofrecida, jugando un papel importante la selectividad de los animales. En estas circunstancias, la evaluación de los animales es menos precisa⁵⁴. De esto se desprende la necesidad de realizar pruebas de mayor duración en pastoreo, lo que va en contra de lo que se busca actualmente: realizar pruebas de corta duración, para incurrir en menores costos, y que su vez permitan tener resultados con buena precisión.

Impacto de las pruebas de desempeño

La eficiencia de las PD depende de varios factores. 1. Las características tenidas en cuenta para seleccionar los mejores individuos. 2. La utilización de los mejores animales como reproductores en las diferentes fincas. 3. Los animales que no tienen buen desempeño durante la prueba no se reproduzcan. 4. La presencia de interacción genotipo-ambiente, si las condiciones en que se realicen las pruebas difieren ampliamente de las condiciones en que serán manejadas las descendencias.

Cates (1991)⁸ presentó un análisis de los datos obtenidos de PD realizadas durante 22 años en la Estación de Saskatoon, en Canadá. Encontró que únicamente la raza Angus mostró un incremento significativo de la ganancia de peso durante este período de tiempo. La explicación de estos resultados es la percepción que se tiene con respecto a la contribución de las pruebas. Muchas personas pueden ver estas pruebas como una oportunidad de mercadear los animales y no como un método de selección de individuos genéticamente superiores. Este autor observó que únicamente el 35% de los toros que finalizan la prueba, pasaban los criterios de selección para ser escogidos como toros para la venta. De los toros que no calificaban, del 10% al 12% eran vendidos directamente para sacrificio desde la estación, siendo los demás vendidos por sus propietarios, como reproductores.

Mercadante et al. (2007)⁵⁷ estimaron la tendencia genética entre los años 1981 y 2005, para diferentes características de crecimiento en un hato Nelore, en el cual los criterios de selección fueron P378 para machos (PD en confinamiento) y P550 días para hembras (desempeño en pastoreo). Encontraron una ganancia genética por año de 2.35 y 2.08 kg para P378 y P550, respectivamente. Igualmente, reportaron una ganancia de 0.23 y 2.02 kg para peso al nacimiento y peso adulto. Los resultados obtenidos en este estudio evidencian que es posible alcanzar un significativo y constante progreso genético en características de crecimiento seleccionando con base al desempeño individual del peso posdestete.

Nardon (1998)⁵⁹, evaluó el efecto de la selección a partir de PD en la raza Nelore para peso a los 378 días de edad, sobre características de crecimiento, composición corporal y composición de la canal. El Nelore seleccionado (NeS) fue superior para el consumo de materia seca por unidad de peso metabólico, GDP, peso de la canal carne comestible que el Nelore control (NeC). Estos resultados indican que es posible obtener progreso genético para características de crecimiento y canal utilizando las PD como método de selección.

Razook et al (1988)⁶⁰, evaluaron las respuestas directas y correlacionadas en características de crecimiento de dos hatos Nelore seleccionado (NeS) y Guzerá seleccionado (GuS), con respecto a un hato de Nelore control (NeC) en la Estación Experimental de Zootecnia de Sertãozinho, cuyos criterios de selección de machos y hembras fueron explicados anteriormente. Las características analizadas fueron peso al nacimiento (PN), peso al destete ajustado a los 210 días (P210), peso de los machos al final de la prueba (P378), ganancia de peso diaria en la prueba (G112), peso de las hembras ajustado a los 550 días (P550), desvíos de P378 en relación al hato control (DP378) y la relación entre P378 y la media del hato control (P/MC). Los hatos NeS y GuS presentaron siempre las mayores medias ajustadas en todas las características de machos, lo que comprueba que hubo una respuesta genética tanto en la característica de selección directa (P378), como en las correlacionadas (PN, P210 y G112). En hembras, las menores medias fueron para GuS y las mayores para NeS.

Estos autores reportaron para PD378 y P/MC en NeS y GuS unas medias de 18.4 y 12.3 kg y 6.9 y 4.8%, respectivamente, comprobando una respuesta genética directa significativa en machos y mayor para NeS. En hembras el desvío medio del control en P550 fue de 4.6 y -4.2 kg para NeS y GuS respectivamente, evidenciando una respuesta genética inferior. El cambio genético anual para P378 estimada por diferentes metodologías estuvo entre 0.94 y 2.73 kg/año en NeS y 1.16 y 2.65 kg/año en GuS. Estos autores concluyeron que hubo un razonable progreso genético tanto en características de selección directa, como indirecta en machos. La respuesta en hembras fue menor, o prácticamente inexistente en GuS, debido probablemente a las condiciones de manejo a que son sometidos esos animales principalmente durante la época seca, impidiendo una manifestación adecuada de los genotipos para crecimiento.

Análisis estadístico

La forma de analizar los resultados obtenidos en las pruebas de desempeño, se puede considerar bajo dos situaciones diferentes. **1. Análisis sobre los datos obtenidos en una PD en particular.** En el desarrollo de estas pruebas, se realizan varias mediciones sobre el mismo animal. Wang et al. (2006)¹⁷ afirmaron que la utilización de modelos mixtos con medidas repetidas con una adecuada estructura de covarianzas, es una buena elección para analizar este tipo de datos para tener en cuenta las autocorrelaciones inherentes a los datos.

Datos de esta naturaleza frecuentemente tienen las siguientes características inherentes: a). Medidas realizadas sobre el mismo animal es más probable que estén más correlacionadas que medidas tomadas en diferentes animales. b). Medidas más continuas en el tiempo, sobre un mismo animal, frecuentemente están más correlacionadas, que medidas apartadas en el tiempo. c). Varianzas de las medidas repetidas frecuentemente cambian con el tiempo^{61,62}. El análisis de medidas repetidas requiere por lo tanto, tener en cuenta las correlaciones entre las observaciones hechas sobre el mismo animal y las varianzas heterogéneas entre observaciones a través del tiempo. Adicionalmente, debido a la capacidad limitada en cuanto al número de animales que se pueden tener en cada prueba, es necesario formar grupos contemporáneos. Se pueden tener varios grupos contemporáneos dentro de un mismo año y a través de los años. Los grupos contemporáneos pueden presentar diferencias en cuanto la edad y peso al inicio de la prueba, las cuales deben ser ajustadas en el análisis estadístico¹⁷. Dentro de los efectos fijos que pueden ser considerados en el modelo se pueden citar: la edad y peso inicial del animal, número de parto de la madre, día de medición, finca y la interacción de día de medición con finca. El efecto aleatorio sería el animal. Si existen relaciones de parentesco entre los animales participantes de la prueba, se puede incluir la matriz de parentesco al análisis.

Con la realización de mediciones frecuentes durante la prueba y la utilización de un análisis de medidas repetidas, se puede disminuir la duración de las pruebas

sin reducir significativamente la exactitud de las estas. Según Wang et al. (2006)¹⁷, con la utilización de análisis de medidas repetidas, se pueden representar las correlaciones y covarianzas entre diferentes medidas del mismo individuo y en cada medición se puede utilizar toda la información de otras mediciones realizadas sobre el mismo animal a través de las correlaciones entre ellas. Así, con relativamente poco número de mediciones se puede obtener la misma cantidad de información que con más mediciones tomadas en un período más largo de prueba que no se utilice el análisis de medidas repetidas¹⁷. Este es un aspecto importante a tener en cuenta, ya que disminuir el período de evaluación sin disminuir significativamente su exactitud, representa menores costos y la posibilidad de evaluar un mayor número de animales. Otro aspecto importante a resaltar es que en el caso de tener datos perdidos, el análisis de medidas repetidas permite obtener la misma exactitud, que cuando se cuenta con todos los datos¹⁷. Este análisis es capaz de utilizar las correlaciones entre diferentes medidas sobre el mismo animal y sus registros anteriores.

Para este tipo de análisis se utilizan modelos mixtos lineales o no lineales, con medidas repetidas del mismo individuo, utilizando el procedimiento MIXED del programa SAS (2006)⁶³, el cual tiene en cuenta efectos aleatorios y permite modelar la estructura de covarianza de los datos^{61,62}. La estructura de covarianzas se refiere a las variaciones individuales de los tiempos y a la correlación entre las medidas en diferentes tiempos, sobre un mismo animal. Hay dos aspectos básicos de correlación. Primero, dos medidas sobre el mismo animal están correlacionadas simplemente porque ellas comparten una contribución común del animal. Esto es debido a la variación entre animales. Segundo, medidas más continuas en el tiempo sobre un mismo animal, frecuentemente están más correlacionadas, que medidas apartadas en el tiempo^{61,62}. Existen numerosas estructuras de covarianzas, siendo recomendable compararlas utilizando alguno de los criterios de bondad de ajuste que se generan con cada prueba (Máxima verosimilitud, AIC, AICC, BIC), seleccionando la estructura de covarianza que presente los valores más pequeños.

2. Análisis sobre los datos obtenidos durante el desarrollo de un alto número de pruebas y con información genealógica. En este caso, generalmente se utiliza el modelo animal cuya estructura matemática se basa en las ecuaciones del modelo mixto desarrolladas por Henderson en la década de los 60. Este modelo proporciona soluciones directas, en términos de valor genético aditivo, para los individuos que tienen registros de producción y para individuos sin datos mediante la inclusión de la matriz de parentesco. Esto permite valorar animales jóvenes o sin información de producción. Este tipo de análisis puede ser utilizado para determinar el efecto que tienen diferentes factores como el hato origen, la vaca (efecto materno y ambiente permanente), peso y edad de los animales al inicio de la prueba y edad de la madre, sobre el desempeño de los animales durante las PD. También permite evaluar la posibilidad de disminuir la duración de la prueba, sin reducir significativamente la precisión de las evaluaciones de los animales^{50,43,3,1}. Este tipo de análisis es muy importante, ya que permite evaluar permanentemente los procedimientos de las pruebas para realizar los respectivos ajustes, garantizando así el cumplimiento de los objetivos que se tienen con las PD.

Índices

Actualmente se utiliza una gran diversidad de índices para clasificar los animales, de acuerdo a su desempeño durante las pruebas para cada una de las características evaluadas. Algunos índices son sencillos, como el utilizado en la Estación Experimental de Zootecnia de Sertãozinho en Brasil, donde únicamente tienen en cuenta la GDP y el peso al final de la prueba³⁶. Otros índices involucran un alto número de características, como el utilizado en el Centro de Desempeño CP CRV Lagoa en Brasil; en este Centro analizan 12 características (peso, GDP, perímetro escrotal, AOL, EGD, conformación, marmóreo, precocidad, musculatura, ombligo, temperamento y tipo). El índice combina todas las DEPs obtenidas ponderadas por un factor de importancia para cada característica, de acuerdo con

la raza¹². Otros países como USA, combina evaluaciones genéticas para características predestete, obtenidas por prueba de progenie, con evaluaciones para características posdestete obtenidas en las PD³⁶.

En muchas ocasiones estos índices carecen de soporte científico, obedeciendo únicamente a la importancia económica que puede tener cada característica. El índice utilizado en la Estación Experimental de Zootecnia de Sertãozinho en Brasil, ha tenido una serie de cambios, como consecuencia a diversas investigaciones. Al inicio de la década de los 70, el índice consistía en el peso final ajustado a los 460 días (P460), siendo la edad al inicio de la prueba de 9 a 14 meses. En 1978, comprobaron la gran influencia de la variación de la edad y peso inicial sobre el desempeño de los animales en relación al P460. Según lo anterior, la edad inicial pasó a ser entre 6 y 8 meses, siendo ajustada a los 210 días (P210). El índice consistía en el peso a los 378 días (P378), el cual era la suma del P210, la GDP durante el período de adaptación (G56) y la ganancia de peso durante 112 días (G112). En 1985, se eliminó la G56. En 1991, encontraron que animales que llegan con un alto peso a la prueba, tienen un buen P378, pero podían presentar una G112 insatisfactoria. En 1996, se buscó un índice que involucrara P378 y G112. Encontraron una correlación del peso de entrada con P378 y G112 de 0.65 y 0.13, respectivamente. Las correlaciones entre edad al ingreso y P378 y G112, fueron bajas (0.09). Igualmente al realizar regresiones, encontraron un mayor efecto del peso y edad al inicio de la prueba sobre P378 que sobre G112. Gongalves en 1996, citado por Razook et al 1997⁶, diseñó un índice conformado por G112 (60%) y P378 (40%), encontrando correlaciones de este índice con peso inicial de 0.27 y con edad inicial de 0.08, verificando una disminución sustancial, con respecto a la correlación obtenida con P378 (0.65 vs 0.27). Este índice se sigue utilizando actualmente.

Una de las características más utilizadas dentro del índice para clasificar los animales, es el peso al final de la prueba, el cual está afectado por el peso inicial (correlación del 0.65, en el caso de la Estación Experimental de Zootecnia de

Sertãozinho en Brasil). Esto está indicando que los animales que ingresan con mayor peso a la prueba, serán los más pesados al final de esta, y no necesariamente son los que ganan más peso durante la PD. Como se discutió anteriormente, el mayor peso inicial de los animales es reflejo tanto de las condiciones ambientales a las cuales ha sido sometido el animal, como a su genética. Las diferencias en el peso inicial pueden ser grandes, en el caso de la primera PD de búfalos en Colombia, los animales ingresaron con una edad promedio de 281 días, con una diferencia máxima de solo 73 días, sin embargo la diferencia máxima de peso fue 91 kg, la cual se conservó hasta el final de la prueba (116 días). Teniendo en cuenta lo anterior, se plantean varios interrogantes; cuál característica, GDP o peso final, es más importante para darle mayor ponderación en el índice? Cómo separar el componente ambiental y genético del peso inicial de los animales?

Es de vital importancia continuar con evaluaciones de los resultados obtenidos en las PD, para revalidar metodologías y poder diseñar índices de clasificación de los animales con validez científica. Esta evaluación debe ser permanente, y probablemente nunca se tengan normas definitivas.

Consideraciones finales

Se presentan las PD como una buena alternativa para iniciar un programa de mejoramiento genético y apoyar el desarrollo de las pruebas de progenie. Estas pruebas permiten evaluar muchas características de importancia económica que presentan una heredabilidad media o alta, permitiendo predecir los valores genéticos de los animales con buena precisión. Estas pruebas permiten obtener valores genéticos de parientes de los animales participantes de las PD, si se logra construir la genealogía e incorporarle en el análisis. Sin embargo, para obtener resultados confiables, se debe prestar especial atención a los efectos que pueden tener el hato origen, el peso y edad inicial sobre el desempeño de los animales durante toda la prueba. Se debe analizar muy bien la dieta utilizada y el sistema

de alimentación; si bien, es importante ofrecer a los animales las mejores condiciones ambientales y nutricionales para que puedan manifestar su potencial genético, estas condiciones no deben divergir ampliamente de las que tendrán su descendencia, para evitar la presencia de interacción genotipo ambiente. Es importante evaluar de manera permanente las metodologías utilizadas para el desarrollo de las pruebas, para poder realizar los ajustes pertinentes y buscar un modelo adecuado y consolidado de pruebas para los países tropicales como Colombia.

Bibliografía

1. Nephawe, KA; Maiwashe, A and Theron, HE. The effect of herd of origin by year on post-weaning traits of young beef bulls at centralized testing centres in South Africa. En: South African Journal of Animal Science. 2006. vol. 36, no. 2, p. 33-39.
2. Pereira, JCC. Melhoramento Genético Aplicado a Produção Animal. FEP-MVZ editora-belo Horizonte. 1999; 403 p
3. Schenkel, FS; Miller, SP; Wilton, JW. Herd of origin effect on weight gain of station-tested beef bulls. En: Livestock Production Science. 2004. vol. 86, p. 93–103.
4. Warwick, EJ. Fifty Years of Progress in Breeding Beef Cattle. En: Journal of Animal Science. 1958. vol. 17, p. 922-943.
5. Montgomery, JL. et al. Supplemental vitamin D3 improves beef tenderness. En: Journal of Animal Science. 2000. vol. 78, no. 1, p. 2615-2621.
6. Razook, AG, et al. Prueba de Ganancia de Peso Normas adoptadas por la Estación Experimental de Zootecnia de Sertãozinho. Nova Odessa (SP), Instituto de Zootecnia. 1997. Boletín Técnico n° 40. p. 42.
7. Uchida, H, et al. Estimation of Genetic Parameters Using an Animal Model for Traits in Performance and Progeny Testing for Meat Production of Japanese Black Cattle Herd in Miyagi Prefecture. En: Animal Science. 2001. vol. 72, no. 2, p. 89-96.

8. Cates, WF. Some nutritional and genetic considerations in the performance testing of beef bulls. En: Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice. 1991. vol. 7, no. 1, p. 59-76.
9. Westhuizen, RRV; Westhuizen, JV and Schoeman, SJ. Genetic variance components for residual feed intake and feed conversion ratio and their correlations with other production traits in beef bulls. En: South African Journal of Animal Science. 2004. vol. 34, no. 4, p. 257-264.
10. Josahkian, LA. As provas de ganho de peso da ABCZ. En: I workshop sobre prova de ganho de peso. 9 de outubro de 2008. Centro APTA bovinos de corte. Sertãozinho-SP, Brasil.
11. Carvalheiro, RO. Centro de Performance da CRV Lagoa. En: I workshop sobre prova de ganho de peso. 9 de outubro de 2008. Centro APTA bovinos de corte. Sertãozinho-SP, Brasil.
12. Abreu, RAM. O Teste de Performance da CRV Lagoa. En: I workshop sobre prova de ganho de peso. 9 de outubro de 2008. Centro APTA bovinos de corte. Sertãozinho-SP, Brasil.
13. Mercadante, MYZ et al. Medidas de ultra-sonido del área del ojo del lomo y espesor de grasa de cobertura de vacunos en prueba de ganancia de peso. En: Reunión anual de la sociedad brasileña de zootecnia, 36, 1999, Porto Alegre, RS. *Anales...* Porto Alegre, RS: SBZ.
14. Carrero, JC. El búfalo asiático: un recurso inexplorado para producir proteína animal. Venezuela: Ed. Lito formas. 2000; 210 p.
15. Garnero, AV, et al. Comparación entre criterios de selección para características de crecimiento correlacionados con edad al primer parto en la raza Nelore. Livestock Research for Rural development. 2001. vol. 15, no. 2.
16. Martínez, GJC, et al. Influencias ambientales y heredabilidad para características de crecimiento en ganado Sardo Negro en México. Zootecnia Tropical. 2007. vol. 25, no. 1, p. 1-7.

17. Wang, Z, et al. Test duration for growth, feed intake, and feed efficiency in beef cattle using the GrowSafe System. *Journal Animal Science*. 2006; 84:2289–2298.
18. Asociación colombiana de criadores cebú (ASOCEBÚ). Reglamento de pruebas de comportamiento y selección de pastoreo. Comité técnico. 2007.p.10.
19. Herd, RM; Archer, JA; Arthur, PF. Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: Opportunity and challenges to application. *Journal of Animal Science*. 2003. vol. 81, no. 1, p. 9-17.
20. Pires, CC et al. Exigências nutricionais de bovinos de corte em acabamento. II- Exigências de energia para manutenção e ganho de peso. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 1993. vol. 22, p. 121-132.
21. _____ Exigências nutricionais de bovinos de corte em acabamento. I- Composição corporal e exigências de proteína para ganho de peso. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 1993. vol. 22, p. 110-120.
22. Freitas, JA. et al. Composição corporal e exigências de energia de manutenção em bovinos Nelore, puros mestiços, em confinamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2006. vol. 35, p. 878-885.
23. Bargo, F. et al. Invited Review: Production and Digestion of Supplemented Dairy Cows on Pasture. *Journal of Dairy Science*. 2003. vol.86, p.1–42.
24. Lascano, C. Recomendaciones sobre metodología para la medición de consumo y digestibilidad in vivo. En: *nutricion de Rumiantes: Guia metodológica de investigación*. IICA: Costa Rica. 1990. p. 159-168.
25. Schneider, BH and Flatt, WP. The Evaluation of Feeds Through Digestibility Experiments. Univ. of Georgia Press, Athens. 1975. p. 169.
26. Mejía, HJ. Consumo voluntario de forraje por bovinos bajo pastoreo. *Acta Universitaria*. 2000. vol. 12, no. 3, p. 56 – 63.

27. Kemp, DJ; Herring, WO; Kaiser, CJ. Genetic and environmental parameters for steer ultrasound and carcass traits. *Journal of Animal Science*. 2002. vol. 80, no 6, p. 1489-1496.
28. Sainz, RD y Araújo FRC. Uso de tecnologias de ultra-som no melhoramento do produto final carne. In: 5º Congresso Brasileiro das Raças Zebuínas. Uberaba. Anais. Uberaba. MG. Brasil. 2002. p.1-8.
29. Silva, SL; Leme, PR; Putrino, SM. Estimativa do peso e do rendimento de carcaça de tourinhos Brangus e Nelore, por medidas de ultrasonografia. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2003. vol. 32, no. 5, p. 1227-1235.
30. Wilson, DE. Application of ultrasound for genetic improvement. *Journal of Animal Science*. 1992. vol. 70, no.3, p. 973-983.
31. Warris, PD. Meat Science. An Introductory Text. CABI Publishing – a division of CAB International. Wallingford, Oxon OX10 8DE, UK. 2003.
32. Jorge AM, et al. Características quantitativas da carcaça de bubalinos de três grupos genéticos terminados em confinamento e abatidos em diferentes estádios de maturidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2005. vol. 34, no. 6, p. 2376-2381 (supl.).
33. Urdapilleta, T. et al. Relação entre Medidas Ultra-Sônicas e a Espessura de Gordura Subcutânea e a Área de Olho de Lombo na Carcaça em Bovinos de Corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2005. vol. 34, no. 6, p. 2074-2084.
34. May, G; Mies, WL; Edwards, JW. Using live estimates and ultrasound measurements to predict beef carcass cutability. *Journal of Animal Science*. 2000. vol.78, no. 5, p. 1255-1261
35. Jorge, AM; Vargas, ADF; Cervieri, R. Correlations among carcass traits taken by ultrasound and after slaughter in Mediterranean (*Bubalus bubalis*) bulls fed in feedlot. In: 7º World Buffalo Congress, Makati. International Buffalo Federation. V II. 2004. p. 199-201.
36. Cyrillo JNSG. As provas de ganho de peso no mundo. En: I workshop sobre prova de ganho de peso. 9 de outubro de 2008. Centro APTA bovinos de corte. Sertãozinho-SP, Brasil.

37. Manrique C. Análisis bovinométrico de pruebas de ganancia de peso en pastoreo. El Cebú. 2003. vol. 331:18-26.
38. Velásquez, JC; Álvarez, LA. Relación de medidas bovinométricas y de composición corporal *in vivo* con el peso de la canal en novillos Brahman en el valle del Sinú. 2004. Acta Agronómica N° 53.
39. Evans, JL, et al; Additive Genetic Relationships Between Heifer Pregnancy and Scrotal Circumference in Hereford Cattle. Journal Animal Science. 1999. vol. 77, no. 10, p. 2621–2628.
40. Schenkel, FS, et al. Two-step and random regression analyses of weight gain of stationtested beef bulls. Journal of Animal Science. 2002. vol. 80, no. 6, p. 1497– 1507.
41. Tong, AKW; Newman, JÁ; Rahnefeld, GW. Pretest herd effects on station performance test. Canadian Journal of Animal Science. 1986. vol. 66, no.4, p. 925– 935.
42. Amal, S; Crow, GH. Herd of origin effects on the performance of station-tested beef bulls. Canadian Journal of Animal Science. 1987. vol. 67, p. 349– 358.
43. Liu, MF; Makarechian, M. Optimum test period and associations between standard 140-day test period and shorter test periods for growth rate in station tested beef bulls. Journal of Animal Breeding and Genetics. 1993. vol. 110, no. 4, p. 312– 317.
44. Tong, AKW. Effects of initial age and weight on test daily gains of station-tested bulls. Canadian Journal of Animal Science. 1982. vol. 62, no.3, p. 671– 678.
45. De Rose, EP; Wilton, JW; Schaeffer, LR. Estimation of variance components for traits measured on station-tested beef bulls. Journal of Animal Science. 1988. vol. 66, p. 626– 634.
46. Mantovani, R, et al. The effect of herd of origin on selection of Chianina, Marchigiana and Romagnola performance tested young bulls. Zootechnica Nutrizione Animale. 1999. vol. 25, p. 109– 121.

47. Fouilloux, MN, et al. Genetic correlation estimations between artificial insemination sire performances and their progeny beef traits both measured in test stations. *Genetics Selection Evolution*. 2000. vol. 32, p. 483-499.
48. Associação Brasileira dos Criadores de Zebu. Programa de melhoramento genético das raças zebuínas Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Elaboração do manual Luiz Antônio Josahkian, Carlos Henrique Cavallari Machado, William Koury Filho. 2003. p.96.
49. Kemp, RA. Relationships among test length and absolute and relative growth rate in central bull tests. *Journal Animal Science*. 1990. vol. 68, p.624–629.
50. Brown, AH, et al. Effects of 84-, 112-, and 140-day postweaning feedlot performance tests for beef bulls. *Journal Animal Science*. 1991. vol. 69, p. 451–461.
51. Archer, JA, et al. Optimum postweaning test for measurement of growth rate, feed intake and feed efficiency in British breed cattle. *Journal Animal Science*. 1997. vol. 75. no. 8, p. 2024–2032
52. Archer, JA and Bergh, L. Duration of performance tests for growth rate, feed intake and feed efficiency in four biological types of beef cattle. *Livestock Production Science*. 2000. vol. 65, no. 1-2, p.47–55.
53. Castilhos, AM, et al. Duração do período de avaliação pós-desmame para medidas de desempenho, consumo e eficiência alimentar em bovinos da raça Nelore. VII Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal. 10 e 11 de julho de 2008. São Carlos, SP.
54. Gregory, KY. Symposium of performance testing in beef cattle, evaluating postweaning performance in beef cattle. *Journal Animal Science*. 1965. vol. 24, no. 1, p. 248-54.
55. Falconer DS and Mackay, TFC. *Introducción a la genética cuantitativa*. Editorial Acribia. 1960; p. 494.

56. Urick, J J; Macneil ,MD; Reynolds, W L. Biological type on postweaning growth, feed efficiency and carcass characteristics of steers. Journal Animal Science. 1991. vol. 69, no. 2, p. 490-497.
57. Mercadante, ME, et al. Análise genética multivariada e tendências genéticas de características de crescimento em rebanhos experimentais da raça nelore. ALPA-Cuzco-Perú. 2007. p. 5.
58. Ramos, A de A. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Estadual de San Pablo (UNESP), Botucatú (Brasil). 2008.
59. Nardon, RM. Seleção de bovinos para desempenho: 'Composição corporal e características de carcaça'. Jaboticabal, SP, 1998, 107 p. Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Zootecnia, Área de Concentração em Produção Animal. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias do Campus de Jaboticabal – UNESP.
60. Razook, AG, et al. Seleção para peso pós-desmame em bovinos nelore e guzerá. II: Respostas direta e correlacionadas. B. Indústr. anim. 1988. vol. 45, no. 2, p.273-315
61. Littell, RC; Henry, PR and Ammerman, CB. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. Journal Animal Science. 1998. vol. 76, no.4, p.1216-1231.
62. Littell, RC; Pendergast, J; Natarajan, R. Modelling covariance structure in the Analysis of Repeated Measures Data, In Statistical Modelling of Complex Medical Data in Medicine. Edited by R. B. D'Agostino. USA. Vol 2. 2004; 159 – 186.
63. Statistical Analysis Systems (SAS®) Versión 9.1 para windows, User's guide Statistics. Statistical Analysis System Institute. Inc; Cary, NC. 2006.

Este capítulo se escribió bajo las normas de la revista **COLOMBIANA DE CIENCIAS PECUARIAS**. Fue aprobado para su publicación.

CAPÍTULO 2. Performance tests for buffaloes (*Bubalus bubalis*) coming from meat and dual-purpose (meat-milk) preweaning management systems in Colombia^α

Pruebas de desempeño para búfalos (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae) provenientes de diferentes sistemas de manejo predestete en Colombia: cría sin ordeño y doble propósito

Provas de desempenho para búfalo (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae) a partir de diferentes sistemas de manejo pré-desmame na Colômbia: corte e dupla aptidão

Diana M Bolívar Vergara^{1,2,*}, Zoot, MSc, cPhD; Mario F Cerón-Muñoz^{1,3}, Zoot, MSc, PhD; Mauricio A Elzo⁴, MV, PhD

¹*Genetics, Animal-Improvement, and Modeling Research Group, GaMMA, University of Antioquia, Colombia*

²*Faculty of Agricultural Sciences, National University of Colombia, A.A. 1779, Medellín, Antioquia, Colombia*

³*Faculty of Agricultural Sciences, University of Antioquia, A.A. 1226, Medellín, Antioquia, Colombia*

⁴ *Department of Animal Science, University of Florida, Gainesville, FL 32611-0910, USA*

^α Project funded by the Colombian Ministry of Agriculture and Rural Development, the University of Antioquia, Lasallian University Corporation, and the Colombian Association of Buffalo Breeders, Agreement between University of Antioquia and Fundación Universitaria San Martín for training graduate students. The authors thank all the people who contributed to the project, especially undergraduate and MS students from the University of Antioquia for their work at the Experimental Station.

* Corresponding author: Faculty of Agricultural Sciences, National University of Colombia, Calle 59A No 63-20, Medellín, Antioquia, Colombia;
Email: dmboliva@unal.edu.co dianamariabolivar@gmail.com

Abstract

The objective of this study was to compare growth traits in buffaloes coming from farms using a preweaning management system without cow milking (WCM), or a dual purpose production system (DP, meat and milk). Performance tests were conducted at the Experimental Station of the University of Antioquia, located in Barbosa, Colombia. Buffaloes were confined and fed fresh Maralfalfa grass (Pennisetum sp.) ad libitum, plus two kilograms of concentrate supplement per day. Weight, ultrasound, and bovinometric measurements were taken every 14 d. Bovinometric measurements were chest girth (CG), height at withers (HW), and height at sacrum (HS). Ultrasound measurements were Longissimus muscle area (REA) and rump fat thickness (RFT). Traits were analyzed using a mixed linear regression model of first and second order with unstructured variance-covariance matrices and accounting for relationships among animals. All traits in DP and RFT, HW and HS in WCM, were fitted well with a second-order regression mixed model. Weight, CG and REA in WCM were fitted well with a first-order regression mixed model. The rate of increase for HW and HS declined at the end of the test in WCM animals, while weight, CG, RFT and REA did not. The DP buffaloes accelerated the rate of increase for all the traits towards the end of the evaluation. Non-zero estimates of genetic variances for random regression effects suggested that these characteristics may be genetically improved in Colombia. Environmental and genetic differences among farms may have influenced the high variability among individuals for the intercept. Linear regression variances were small for all traits, suggesting that although selection of animals within these performance tests is possible, expected changes in the buffalo population will be small.

Keywords: beef cattle, bovinometric, genetic improvement, growth, mixed models, performance test.

Resumen

*El objetivo de este estudio fue comparar características de crecimiento de búfalos sometidos a pruebas de desempeño, pertenecientes a dos sistemas de producción: cría sin ordeño (CSO) y doble propósito (DP). Las pruebas se realizaron en la Estación Experimental de la Universidad de Antioquia, ubicada en Barbosa, Colombia. Los animales fueron confinados y alimentados con pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) y dos kilogramos de un suplemento por día. El peso, las medidas de ultrasonido y bovinométricas fueron tomadas cada 14 días. Las medidas bovinométricas fueron perímetro torácico (PT), altura a la cruz (AC) y altura al sacro (AS). Las medidas por ultrasonido fueron área del músculo Longissimus (AOL) y espesor de grasa de la cadera (EGC). Las características fueron analizadas utilizando un modelo de regresión lineal mixto de primer y segundo orden, con matrices de varianzas y covarianzas sin estructura, teniendo en cuenta la matriz de parentesco entre los animales. Todas las características en los animales provenientes del sistema DP y EGC, AC y AS en animales de CSO, presentaron un mejor ajuste al modelo de regresión de segundo orden. El peso, PT y AOL en animales de CSO ajustaron mejor con un modelo de regresión de primer orden. La tasa de incremento de AC y AS en los búfalos de CSO declinó al final de la prueba, mientras que las otras características no presentaron disminución. Los búfalos DP aceleraron la tasa de incremento para todas las características al final de la evaluación. Las varianzas genéticas estimadas para los coeficientes de regresión fueron diferentes de cero, sugiriendo que estas características pueden ser mejoradas genéticamente en Colombia. Diferencias ambientales y genéticas entre fincas pueden haber influido en la alta variabilidad del intercepto entre los individuos. Las varianzas de los coeficientes de la regresión lineal fueron*

pequenas para todas las características, sugiriendo que, aunque la selección de animales dentro de estas pruebas es posible, los cambios esperados en la población de búfalos serán pequeños.

Palabras clave: *bovinometría, crecimiento, ganado de carne, mejoramiento genético, modelos mixtos, pruebas de desempeño.*

Resumo

*O objetivo deste estudo foi comparar as características de crescimento de búfalos submetidos a provas de desempenho. Estes búfalos foram provenientes de fazendas de corte (CSO) ou dupla aptidão (DP). As provas foram conduzidas na Estação Experimental da Universidade de Antioquia, localizada em Barbosa, na Colômbia. Os animais foram confinados e alimentados com capim Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) e dois kg de suplemento por dia. Medidas morfométricas, de pesagem e ultra-som foram realizadas a cada 14 dias. As medidas morfométricas foram: perímetro torácico (PT), altura na cernelha (AC) e altura ao sacro (AS). As mensurações de Ultra-som foram: área do olho do lombo (AOL) e espessura de gordura na anca (EGA). As características foram analisadas utilizando um modelo de regressão linear misto de primeira e segunda ordem com uma matriz de variância e covariância não-estruturada, tendo em conta a matriz de parentesco entre os animais. Todas as características em búfalos provenientes do sistema DP e EGA, AC e AS em búfalos provenientes do sistema CSO, apresentaram um melhor ajuste em regressões de segunda ordem. Peso, PT e AOL em animais provenientes do sistema CSO, ajustaram melhor em regressões de primeira ordem. Em animais CSO a taxa de aumento da AC e AS diminuiu no final do período, as outras características não apresentaram diminuição. Em búfalos do sistema DP apresentaram um aumento considerável ao final da avaliação. A variância genética estimada para os coeficientes de regressão foram diferentes de zero, o que sugere que estas características podem ser*

melhoradas geneticamente, na Colômbia. Diferenças ambientais e genéticas podem ter influenciado na alta variabilidade do intercepto entre os indivíduos. As variâncias do coeficiente de regressão linear foram pequenas para todos os caracteres, sugerindo que, embora a seleção de animais nesses testes é possível, as mudanças esperadas na população de búfalos será pequeno.

Palavras chave: *crescimento, gado de corte, melhoramento genético, modelos mistos, morfometria.*

Introduction

Performance tests are commonly used to initiate the evaluation process of economically important traits in beef cattle, particularly in countries where it is difficult to collect reliable information in the field. Performance tests evaluate animals under the same environmental conditions, thus performance differences among animals are highly associated to their genetic differences (Pereira et al., 1999; Nephawe et al., 2006). These tests play an important role when genetic evaluation systems are initially being implemented in a population, because there is usually poor genetic connectivity among farms, negatively affecting genetic evaluations of animals across herds (Razook et al., 1997).

The first performance tests to evaluate post-yearling growth in buffaloes coming from two preweaning rearing systems were recently implemented in Colombia. These preweaning rearing systems were: 1) without cow milking (WCM), whose objective was to obtain high calf weaning weights and slaughter weights at an early age, and 2) dual purpose (DP) where buffalo cows are milked once a day, thus calves attained lower weaning weights and reached slaughter weights at later ages than in the WCM system.

Traits evaluated in buffalo performance tests include body weight, bovinometric measurements, and ultrasound measurements. These traits can be used to statistically analyze growth in buffaloes as well as determining the existence of variability among individual animal growth curves within a population (France et al., 1996; El Halimi, 2005).

The objective of this study was to compare post-yearling growth in buffaloes coming from preweaning systems with and without cow milking using weight, ultrasound, and bovinometric measurements taken at a performance test station.

Materials and methods

Location

Performance tests were conducted at the Experimental Station of the University of Antioquia, located in Barbosa (Antioquia, Colombia), an area classified as subtropical wet forest (height above sea level: 1300 m , temperature: 23 °C, precipitation: 1800 mm / year).

Animals and Diets

A total of 122 animals from 9 Colombian municipalities were evaluated at the Experimental Station. Forty five animals came from WCM herds, located in Buenavista and Ayapel (Córdoba), Cimitarra (Santander), and Norcasia (Caldas). The other 77 animals came from DP herds, located in Montería, Buenavista, Montelíbano, Tierralta, and Ayapel (Córdoba), Barrancabermeja (Santander), and Puerto Nare (Antioquia).

Four post-yearling performance tests were conducted, two for WCM buffaloes (First: between July and October 2009; Second: August and December 2010), and another two for DP buffaloes (First: between December 2009 and April 2010; Second: February and May 2011). The number of buffaloes participating in each

performance test, duration of each test, and means and standard deviations for age, initial weight, and final weight are presented in Table 1.

Animals were housed in individual pens (16 m²). Each pen was equipped with a feeder and a drinker. Pens had cement floor, no bedding, and were partially roofed (4 m²). The diet consisted of fresh Maralfalfa grass (*Pennisetum* sp.) offered *ad libitum*, and 2 kg of a concentrate supplement per day. The concentrate supplement was composed of corn (50%), extruded soybeans (15%), soybean (10%), extruded corn (10%), homogeneous mix of extruded corn and soybean meal (10%), mineral salt containing phosphorus (8%), calcium carbonate (1%) and 2% of a vitamin and mineral premix. Table 2 shows the chemical composition of Maralfalfa grass and the concentrate supplement.

Table 1. Averages and standard deviations of age and weights during post-yearling performance tests of buffaloes coming from two preweaning systems

Trait	Production system			
	System without cow milking		Purpose production system	
	PT ₁	PT ₂	PT ₁	PT ₂
Number of animals	26	19	33	44
Age at the beginning of test, d	285 ± 26	306 ± 18	426 ± 24	484 ± 23
Weight at the beginning of test, kg	261 ± 29	295 ± 26	240 ± 41	274 ± 51
Weight at the end of test, kg	342 ± 39	357 ± 26	314 ± 37	354 ± 45
Test length, d	116	112	126	111

PT₁: first performance test. PT₂: second performance test

Traits

Weight, ultrasound, and bovinometric measurements were taken every 14 d. Animals were weighed after 12 hours of fasting. The bovinometric measurements were chest girth (CG), height at withers (HW) and height at sacrum (HS). A measuring tape and a bovinometric rule were used to measure chest girth and the heights. The ultrasound measurements were longissimus muscle area (REA) and

rump fat thickness (RFT). Ultrasound measurements were taken using an Akila-Pro ultrasound equipment (Esaote Europe BV, Maastricht, The Netherlands) with a 3.5 MHz (18 cm) transducer. Images were measured with Eview software (Pie Medical, Maastricht, the Netherlands). To assess REA, an image was taken between the 12th and 13th rib, perpendicular to the loin muscle. To measure RFT the image was taken from the tip of the hip, towards the back region between the iliac and ischial tuberosities (Perkins et al., 1992; Realini *et al.*, 2001; Jorge et al., 2005).

Table 2. Chemical composition of the diet offered during post-yearling performance tests of buffaloes coming from two preweaning management systems

Nutrient composition	Maralfalfa grass ¹				Feed supplement			
	WCM		DP		WCM		DP	
	PT ₁	PT ₂	PT ₁	PT ₂	PT ₁	PT ₂	PT ₁	PT ₂
Protein	7.46	8.49	5.88	7.60	13.98	14.20	14.63	16.48
Energy (Kcal/kg)	3866	3774	3857	3974	3813	3800	3846	4418
Acid detergent fiber (%)	48.10	47.89	44.68	43.79	12.53	9.19	9.50	8.14
Neutral detergent fiber (%)	71.56	64.79	71.29	63.47	18.55	20.14	17.15	15.20
Lignin (%)	11.92	11.66	12.61	11.59				
Total ash (%)					8.50	7.50	6.35	6.80
Calcium (%)					2.07	2.05	1.82	1.95
Ether extract (%EE)					1.53	1.95	2.41	2.00
Phosphorus (%)					0.19	0.20	0.21	0.20

¹ The composition of the grass maralfalfa is the average of four samples taken each month, which were composed of three subsamples taken for three consecutive days before each measurement.

² WCM: preweaning management system without milking; DP: preweaning management system dual purpose

PT₁: first performance test. PT₂: second performance test

Statistical Analysis

Traits were analyzed using animal mixed models with fixed and random first and second order regression effects. Models used unstructured variance and covariance matrices (different variances and covariances between random parameters), as described by Littell et al. (2004). Data from performance tests for

animals from WCM and DP preweaning systems were analyzed separately, because animals started their tests at substantially different ages. The mixed model was:

$$y_{ijk} = (\beta_0 + b_{0i:k}) + (\beta_1 + b_{1i:k}) X_j + \beta_2 X_j^2 + T_k + e_{ij}$$

Where, y_{ijk} = trait (weight, ultrasound and bovinometric) measured at the j-th age of the i-th animal in k-th test; β_0 , β_1 and β_2 = intercept, linear, and quadratic regression coefficients for all animals; X_j = is the j-th age; T_k = fixed effect of test (two tests by production system); and e_{ij} = residual associated with the individual variability of the observations not explained by the model, where $e_{ij} \sim N(0, \sigma_e^2)$; $b_{0i:k}$ and $b_{1i:k}$ = intercept and linear regression coefficient of the i-th animal, representing random deviations from β_0 and β_1 coefficients, respectively, where

$$\begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \end{bmatrix} \sim N \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, A * \begin{bmatrix} \sigma_{b0}^2 & \sigma_{b01} \\ \sigma_{b10} & \sigma_{b1}^2 \end{bmatrix} \right). \quad \text{The relationship matrix (A) between animals}$$

contained 120 animals in the WCM analysis (10 half sibs) and 192 animals in DP analysis (41 half sibs). The $b_{2i:k}$ random effect of the i-th animal was not included in the final model because convergence was not achieved when this effect was included in preliminary runs. Computations were performed with the MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC). The relationship matrix was included in the mixed model equations using option LData within statement RANDOM of the MIXED procedure.

Results

Growth Curves

All traits in DP system and RFT, HW and HS in WCM system, were fitted well with a second-order regression mixed model. These traits showed a high level of significance for the parameters β_0 ($P < 0.0001$) and β_2 ($P < 0.0001$); while β_1 showed a high level of significance ($P < 0.0001$) for all traits except for RFT in WCM system and RFT, HS and HW in DP system ($P > 0.05$). On the other hand,

weight, CG and REA for the WCM system were fitted well with a first-order regression mixed model (β_2 had no significant effect with $P > 0.05$) and the estimated parameters (β_0 and β_1) were highly significant ($P < 0.0001$). The correlation obtained between predicted and actual values fluctuated between 0.95 and 0.99 ($P < 0.0001$), with distribution of residuals around zero. A normal distribution of residuals was obtained with these models, where most residuals were fitted well.

Performance test results for bovinometric traits for WCM animals were: CG = 173.6 ± 5.68 cm, HW = 122.8 ± 3.81 cm, and HS = 128.2 ± 3.01 cm. The DP animals, which were older, had CG = 172.8 ± 7.97 cm, HW = 121.4 ± 4.07 cm, and HS = 126.6 ± 4.25 cm.

Animals from the WCM system had a negative β_2 for HW ($P < 0.0001$) and HS ($P = 0.0005$), which indicates a deceleration in the rate of increase towards the end of the assessment period. On the other hand, CG continued to increase at a rate of 0.116 cm / d ($P < 0.0001$) until the end of the performance test (Table 3, Figure 1). The rate of fat deposition continued to increase until the end of the test, and had a positive β_2 ($P < 0.0001$). Similarly muscle (REA) continued to grow linearly ($P < 0.0001$) (Table 3, Figure 1).

Animals from the DP system had positive β_2 ($P < 0.0001$ to $P = 0.0119$) for all traits. This indicated that animals had a positive rate of increase at the beginning of the performance test, associated to β_1 , and then it increased (not decreased as it happened to WCM animals, despite of the older age). At the end of the tests, animals of first and second test were 18 and 19 mo old, respectively and their rate of increase was still positive.

Table 3. Growth, ultrasound, and bovinometric trait regression parameters for buffaloes from two preweaning management systems in post-yearling performance tests

Preweaning system ²	Parameter ¹		
	β_0	β_1	β_2
Weight, kg			
WCM	244.9 ± 6.35	0.678 ± 0.02	
DP	235.9 ± 7.07	0.415 ± 0.03	0.0008 ± 0.0001
Longissimus muscle area, cm²			
WCM	31.77 ± 1.12	0.066 ± 0.003	
DP	27.96 ± 1.21	0.033 ± 0.008	0.0001 ± 0.000027
Rump fat thickness, mm			
WCM	5.73 ± 0.38	0.0016 ± 0.0027	0.00004 ± 0.00001
DP	4.13 ± 0.34	0.0004 ± 0.0026	0.00005 ± 0.00008
Chest girth, cm			
WCM	152.5 ± 1.18	0.1159 ± 0.0035	
DP	149.6 ± 1.60	0.1048 ± 0.0140	0.00013 ± 0.00005
Height at withers, cm			
WCM	110.9 ± 0.99	0.111 ± 0.011	-0.00026 ± 0.00004
DP	112.1 ± 1.20	0.017 ± 0.012	0.00015 ± 0.00004
Height at sacrum, cm			
WCM	116.8 ± 0.89	0.100 ± 0.009	-0.0002 ± 0.00004
DP	117..2 ± 1.21	0.0035 ± 0.010	0.0002 ± 0.00003

¹ β_0 = intercept, corresponds to the initial value; β_1 and β_2 = linear and quadratic regression coefficients associated to the prediction variable “age” during the performance test; β_0 : P < 0.0001; β_1 : P between 0.0675 and < 0.0001; β_2 : P between 0.0393 and 0.0001.

² WCM: preweaning system without milking; DP: dual purpose preweaning system.

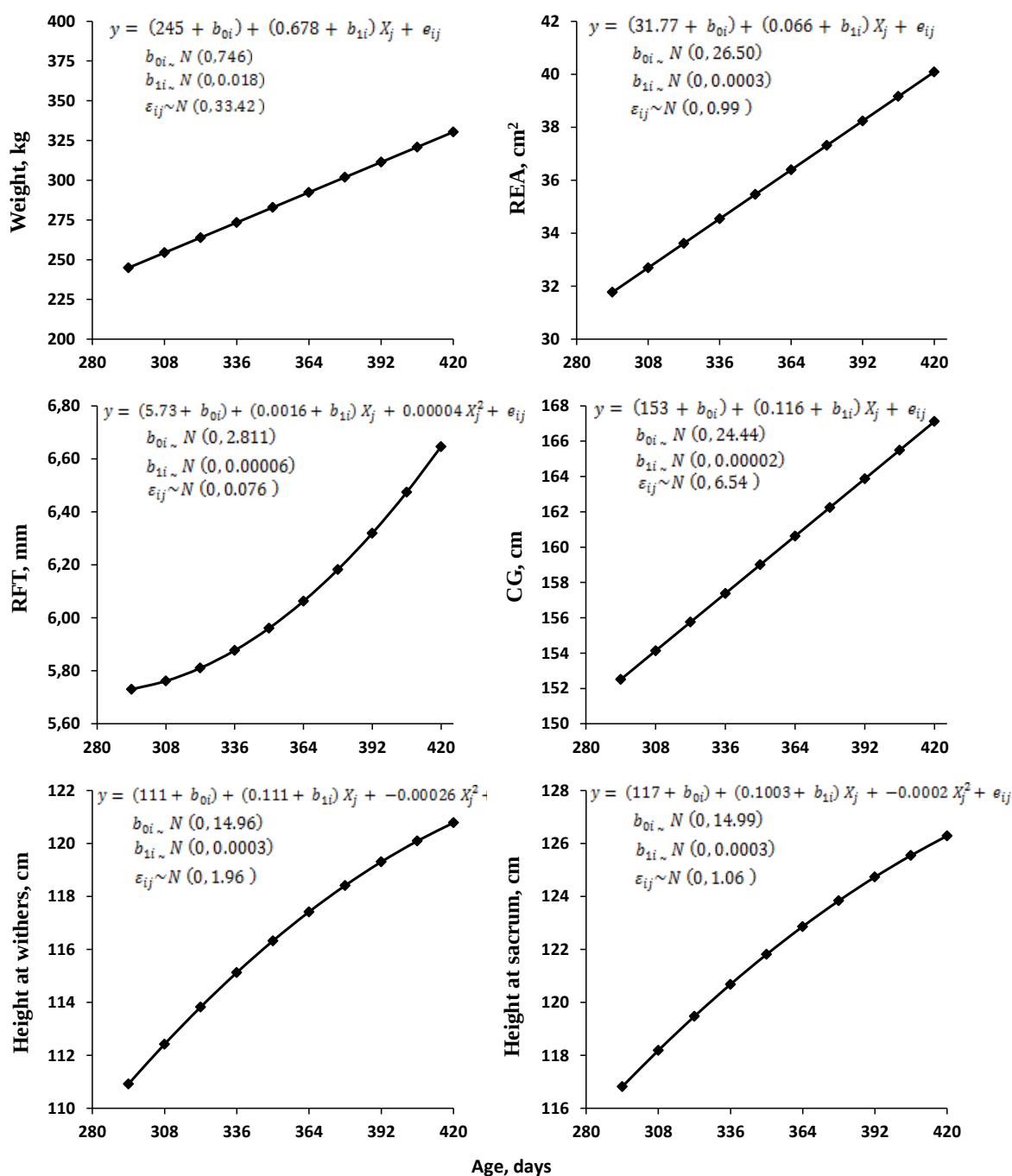


Figure 1. Growth plots of performance tests conducted with buffaloes from farms without milking (data adjusted by a linear mixed model of first and second order). REA = longissimus muscle area; RFT = rump fat thickness; CG = chest girth; HW = height at withers; HS = height at sacrum.

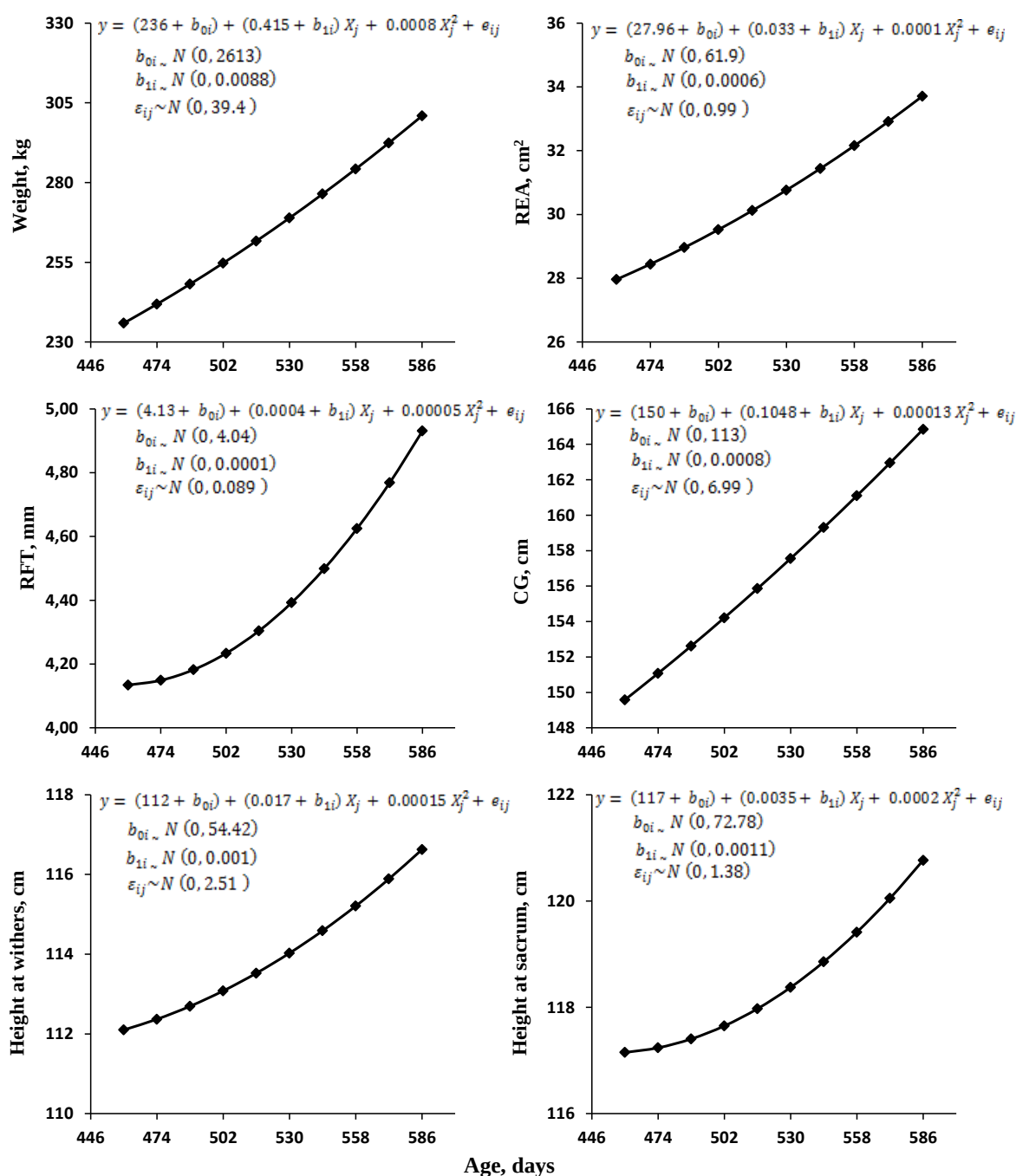


Figure 2. Growth plots of performance tests conducted with buffaloes from dual purpose farms (data adjusted by a linear mixed model of second order). REA = longissimus muscle area; RFT = rump fat thickness; CG = chest girth; HW = height at withers; HS = height at sacrum.

The DP buffaloes showed little growth during the first 28 d of the performance test (Figure 2). When growth curves were analyzed without taking into account the measurements made during this period (results not shown), higher growth rates were observed for weight (478 g / d, $P < 0.0001$), REA ($0.04 \text{ cm}^2 / \text{d}$, $P = 0.0001$), fat ($0.009 \text{ mm} / \text{d}$, $P = 0.0044$), HW ($0.1163 \text{ cm} / \text{d}$, $P < 0.0001$) and HS ($0.1116 \text{ cm} / \text{d}$, $P < 0.0001$).

Genetic Variation

Variance components due to b_0 , b_1 , and residual effects were estimated to obtain some information on the variability among animals in these four performance tests. Table 4 presents the estimates of variance and covariance components obtained for growth, ultrasound, and bovinometric traits using data from the WCM and DP performance tests. Estimates of animal variance components due to b_0 and b_1 were non-zero for all traits which suggests the existence of genetic variation among buffaloes in these performance tests. Negative correlations between b_{0i} and b_{1i} were estimated for all traits in both production systems (Table 5), indicating that animals entering the test with higher initial values had lower growth rates during the performance test.

Discussion

Growth Curves

All traits were fitted well with first or second order regression mixed model. A normal distribution of residuals was obtained with these models, where most residuals were fitted well, except for some that were outside the curve indicating they were either overestimated (at the beginning of the performance test) or underestimated (at the end of the performance test). The outliers could be caused by the heterogeneity among individuals.

Bovinomeric measures obtained at the end of the tests were lower than those reported by Lourenço *et al.* (2010) for animals from 2 weight-gain trials in Brazil, which resulted in CG = 183.07 and 178.58 cm, HW = 130.94 and 128.06 cm, and HS = 134.5 and 130.90 cm for the first and second tests, respectively. In contrast, DP animals here showed higher value for CG, HW and HS than those reported by Crudeli *et al.* (2007) in buffaloes grazing on native pastures, which at 18 months of age resulted in CG = 166.76, HS = 122.63 cm, and HW = 119.18 cm.

In WCM system animal the rate of increase for HW and HS declined at the end of the test, while weight, CG, RFT and REA did not. This is consistent with the growth waves previously described for cattle (Berg and Butterfield, 1976). The B wave (from the limbs towards the back), which corresponds to growth in height, has an early development. On the other hand, the C wave (from the back towards the sternum) is delayed. In addition, to the muscle and fat deposition occur at a later age, being fat tissue is the last one to accumulate in the animal (Berg and Butterfield, 1976).

The DP buffaloes accelerated the rate of increase for all the traits towards the end of the evaluation (not decreased as it happened to WCM animals), despite of the older age (18mo and 19 mo old in the first and second test, respectively). These animals showed little growth during the first 28 d of the performance test. This could have happened for two reasons. First, DP buffaloes were accustomed to a different production system, managed under pasture conditions, with different forage species and climate, thus they needed to get accustomed to a new system (confinement, cut grass, climate) and a new group of animals. Second, the first performance test for DP animals started at the beginning of the drought season, which was particularly intense. The total precipitation during the four months of the test was less than half than in previous years (199 mm vs. 584 mm; Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies - IDEAM; station 27015150, El Progreso, Barbosa, Antioquia, Colombia). These conditions negatively affected the production and nutritional quality of the grass.

A key factor to consider during a performance test is the quality of the diet. The intention in these four performance tests was to offer a diet with a nutritional value similar to that of medium quality grass, so it would not greatly diverge from grasses generally used in Colombia. This was aimed at reducing the probability of a genotype-environment interaction (when the offspring of the best animals chosen under particular feeding conditions do not perform well under different conditions). However, pasture quality declined substantially in the first performance test for DP buffaloes (Table 2), mainly reflected in its lower protein and high lignin content.

Table 4. Variance components for post-yearling growth, ultrasound, and bovinometric traits in performance tests for buffaloes coming from two preweaning management systems

System	Traits ¹							
	Weight, kg				Longissimus muscle area, cm ²			
	σ_{bo}^2	σ_{b1}^2	σ_{b01}	σ_e^2	σ_{bo}^2	σ_{b1}^2	σ_{b01}	σ_e^2
DP	2613±453	0.0088±0.002	-3.493±0.839	39.40±2.27	61.90±10.80	0.0006±0.0001	-0.114±0.030	0.99±0.06
WCM	746±176	0.0178±0.004	-0.668±0.866	33.42±2.56	26.50±5.91	0.0003±0.00009	-0.043±0.018	0.99±0.08
	Rump fat thickness, mm				Chest girth, cm			
	σ_{bo}^2	σ_{b1}^2	σ_{b01}	σ_e^2	σ_{bo}^2	σ_{b1}^2	σ_{b01}	σ_e^2
DP	4.036±0.717	0.0001±0.00002	-0.009±0.0029	0.089±0.005	113.8±22.34	0.0008±0.0002	-0.258±0.067	6.99±0.44
WCM	2.811±0.599	0.00006±0.00001	-0.006±0.0023	0.085±0.007	24.44±6.99	0.00002±0.0001	-0.017±0.024	6.54±0.55
	Height withers, cm				Height at sacrum, cm			
	σ_{bo}^2	σ_{b1}^2	σ_{b01}	σ_e^2	σ_{bo}^2	σ_{b1}^2	σ_{b01}	σ_e^2
DP	54.42±13.11	0.0011±0.0003	-0.193±0.053	2.51±0.17	72.78±16.88	0.0011±0.0002	-0.246±0.058	1.38±0.09
WCM	14.96±3.99	0.0003±0.0001	-0.043±0.019	1.96±0.17	14.99±3.88	0.0003±0.00008	-0.044±0.015	1.06±0.09

¹ WCM= preweaning system without milking; DP= dual purpose preweaning system.

σ_{bo}^2 : intercept variance; σ_{b1}^2 : growth rate variance; σ_{b01} : covariance between intercept and growth rate; σ_e^2 : residual variance

Table 5. Correlations between b_{0i} and b_{1i} for growth, ultrasound, and bovinometric traits during post-yearling performance tests for buffaloes from two preweaning systems

System ¹	Traits ²					
	Weight	REA	RFT	CG	HW	HS
DP	-0.69	-0.59	-0.45	-0.86	-0.81	-0.88
WCM	-0.18	-0.44	-0.46	-0.70	-0.60	-0.65

¹WCM = preweaning system without milking; DP = dual purpose preweaning system.

²REA = longissimus muscle area; RFT = rump fat thickness; CG = chest girth; HW = height at withers; HS = height at sacrum.

During the performance tests with WCM animals, good growth was observed since the beginning of the tests, indicating that diet was adequate. These animals entered the tests at a younger age and were recently weaned, so they required a higher quality diet. Precipitation was adequate during the time that tests were conducted, resulting in good growth and quality of the grass. On the other hand, the DP animals were older and had already overcome the weaning stress, therefore requiring a lower quality diet. For this reason, fast growth was expected from the start of the tests. However, results showed that the diet provided to DP buffaloes was not adequate. This was due insufficient production and quality of pastures during their first performance test due to low precipitation during that period. These results demonstrated the importance of providing homogenized rations to ensure a consistent nutritional value independent of weather conditions.

The initial weight of WCM buffaloes (261 and 294 kg, for first and second test, respectively) was similar to that reported by Lourenço *et al.* (2010) for Murrah buffaloes in two weight-gain trials conducted by the Eastern Amazon Embrapa in Belém, Pará, Brazil. Their animals belonged to farms that had genetic improvement programs, and had average initial weights of 265 kg and 273 kg during the first and second tests and ages ranging from 213 d to 303 d. Given that Brazil is one of the top buffalo producing countries and has conducted extensive breeding research, one could argue that animals in the first test had good genetic potential. The initial weight estimated here for WCM

animals was lower (245 kg) than Lourenço *et al.* (2010) because the initial age considered was the minimum age (235 days). The initial weight of DP buffaloes here was lower (240 and 274 kg, for first and second test, respectively) and they were also older (first test: 426 d; second test: 484 d) than those reported by Lourenço *et al.* (2010) because they were managed under a different production system (with cow-milking), which led to lower weights and older weaning ages.

Crudeli *et al.* (2007) reported a mean weaning weight of 282.4 kg at seven months of age for 170 Mediterranean buffaloes in Argentina, which is above the weight at the start of performance tests here. However, they also reported a weight of 335.9 kg at 18 months of age, which was lower to that of the performance tests for WCM buffaloes at 13 and 14 months (342 and 357 kg, Table 1). This is a good indicator of the genetic growth potential of WCM animals, and of the adequate handling offered during their performance test. At the end of the first test, the DP animals (18 mo of age) continued to show lower weights (314 kg, Table 1) than WCM animals. Malhado *et al.* (2008) reported a lower average weight for 1-yr-old Murrah buffaloes (229.65 kg), but a similar average weight to DP animals at 18 months (317.17 kg). Mean weight at the end of second test for DP animals was greater than weight reported for Malhado *et al.* (2008).

The daily gain obtained by Lourenço *et al.* (2010) was 911 and 969 g/d for the first and second weight-gain trials (224 d, excluding the adaptation period), which was greater to that obtained for the WCM (678 g) and DP (415 g) buffaloes. These results can be explained by the diet used (diet with a nutritional value similar to that of medium quality grass). The daily gains obtained by Lourenço *et al.* (2010) during the adaptation period of their two trials (70 days) were also very low (257 and 285 g), reaffirming the importance of taking this period into account.

Genetic Variation

Non-zero estimates of genetic variances for b_0 and b_1 suggested that growth, ultrasound, and bovinometric traits may be genetically improved in Colombia. However,

the high estimates of variances due to b_0 represented not only genetic differences among individual animals, but may also have included maternal effects, and preweaning environmental differences (management, nutrition, climate) among farms supplying buffaloes for the WMC and DP performance tests. These differences among animals due to genetic differences among herds, maternal effects, and preweaning environmental differences among herds are usually called residual effects due to herd of origin, which could potentially be minimized with an adjustment period (Schenkel et al., 2004; Nephawe et al., 2006).

Thus, an aspect to consider during performance tests is the exclusion of the effect of herd of origin that remains during the test (Schenkel et al., 2004; Nephawe et al., 2006). Studies have shown significant effect of herd of origin on performance of bulls in the test after the adjustment period (Tong et al., 1986; Amal and Crow 1987; Liu and Makarechian, 1993; Schenkel et al., 2002, 2004;), and the existence of a negative correlation between weight gain before and after weaning, indicating compensatory gain during the test (Tong, 1982; De Rose et al., 1988; Tong et al., 1986).

While it is undeniable the herd of origin can have an effect on performance during performance tests and therefore on its results, it is important to note that this effect has two components: environmental and genetic. The environmental effect can be minimized or eliminated by a suitable adjustment period, but the genetic component due to genetic differences among herds will remain. Animals from farms with high selection pressure for growth traits are expected to have a higher weight at the same age than animals coming from farms that do not have a breeding program, and these differences may remain over the test. This is a relevant issue because the effect of herd of origin may remain until the end of the test. The problem is how to separate these two components. Buffaloes for the DP tests entered at a similar age (first test: maximum difference was 77 days; second test: maximum difference was 115 days). However, their initial weight ranged between 170 and 322 kg (first test) and between 210 and 465 kg (second test), and this difference persisted until the end of the test, although the coefficient of variation decreased from 19% to 13%. Similarly, WCM buffaloes entered

their performance tests with a maximum age difference of 73 and 68 days, for first and second test, respectively, but their initial weight difference was 91 kg (first test: ranged from 215 to 306 kg) and it increased to 168 kg (ranged from 298 to 412 kg) at the end of this test; the difference in the second test for WCM animals was 80 kg (ranged from 254 to 334 kg) and it increased to 99 kg.

These results indicate that, although the effect of herd of origin was important during the test, animals in the WCM performance tests expressed their own ability to grow under the environmental conditions provided by the test. This did not happen in the DP performance test, likely because the diet supplied to buffaloes in the first test prevented them from expressing their individual growth potential. According to Pereira (1999), the lower the weight variations of animals are at the beginning of the performance test, the lower the effects of the previous environment and the greater the guarantee of success of the test. Three aspects were considered here with the aim of reducing the weight variation at the beginning of the performance tests: 1) Low variation in initial age (maximum difference 73 d and 68 d of the two test for WCM and 77 d of the first test for DP). This age difference was smaller than the range used in other performance test stations (except for the second test of DP animals: 115 d); e.g., 90 d in the Central Station in Ontario, Canada (Schenkel *et al.*, 2004), the Sertãozinho Experimental Station for Animal Husbandry in Sao Paulo, Brazil (Razook *et al.*, 1997), and the Brazilian Association of Zebu Breeders (ABCZ, 2003), but greater than the age difference of 60 d for Zebu cattle performance tests in Colombia (ASOCEBÚ, 2007); 2) Pre-selection of participating animals based on their performance in contemporary groups in the herd of origin. Weaning weight was taken into account for the tests of WCM animals. Milk yield of the mother and weaning weight were considered for the tests of DP animals; and 3) Tests were conducted independently for animals from WCM and DP production systems. In spite of these measures, there was high variation among weights in the WCM and DP performance tests here. As indicated above, preweaning herd environmental conditions, maternal environmental effects, and genetic differences among herds may have contributed to these differences.

Lastly, linear regression variances were small for all traits, suggesting that although selection of animals within these performance tests is possible, expected changes in the buffalo population will be small. Larger samples of buffaloes in performance tests and better accounting for preweaning environmental conditions and genetic differences among herds will improve chances of identifying the best buffaloes in performance tests in Colombia. However, the sample of animals evaluated will be too small to be able to successfully identify the best buffaloes in Colombia, but performance tests can be a good alternative to start a breeding program for this species in the country. These tests plus evaluation of all animals in all farms in Colombia using a field genetic evaluation program will permit to accurately assess genetic variability and provide buffalo producers with accurate genetic evaluations across all Colombian environments.

Conclusions

Regression mixed models of first and second order was adequate to describe buffalo growth in terms of weight, ultrasound, and bovinometric traits. The WCM animals showed a good growth rate during the test, while growth of DP buffaloes was limited by the supply of low quality forage. To obtain higher growth rates during performance tests, good quality diets and completely mixed and homogenized rations must be supplied to ensure a consistent nutritional value throughout the test, independent of weather conditions. It was not possible to entirely separate genetic and environmental components. Environmental and genetic differences among farms (herd of origin effect) may have influenced the high variability among individuals for the intercept. Slope variances were low for all traits. The random parameters of intercept and growth rate showed a negative correlation, indicating that animals with higher initial weights had lower growth rates during the performance test.

References

Amal S, Crow GH. Herd of origin effects on the performance of station-tested beef bulls. *Can. J. Anim. Sci* 1987; 67: 349-358.

Asociación colombiana de criadores cebú (ASOCEBÚ). Reglamento de pruebas de comportamiento y selección de pastoreo. Proceso Técnico. 2007; [January 15, 2011]

URL: http://www.asocebu.com/getdoc/0f97d8b8-c6c4-4445-b62a-11b602e62ade/RTEC_004.aspx

Associação Brasileira dos Criadores de Zebu. Programa de melhoramento genético das raças zebuínas. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. 2003; [March 5, 2011] URL: http://www.abcz.org.br/site/tecnica/regulamento_cl.pdf.

Berg RT and Butterfield RM. New concepts of cattle growth. Ed. Sidney Univ. Press. Australia. 1976; [April 15, 2011] URL: <http://ecommons.library.cornell.edu/handle/1813/1008>.

Crudeli G, Pochon D, Olazarri M, Monzón N, Chaparro L, Flores S, Patiño E and Cedrés J. Morphometric evaluation of male Mediterranean buffaloes in Northern Corrientes, Argentina. Ital. J. Anim. Sci. 2007; 6 (Suppl. 2): 1281-1283.

De Rose EP, Wilton JW and Schaeffer LR. Accounting for pretest environment and selection in estimating breeding values for station-tested beef bulls. J. Anim. Sci. 1988; 66: 635- 639.

El Halimi R. Nonlinear mixed-effects models and nonparametric inference. A Method Based on Bootstrap for the Analysis of Non-normal Repeated Measures Data in Biostatistical Practice. PhD Dissertation. Dept. Statistics, Univ. Barcelona, Barcelona, Spain. 2005. 247p.

France J, Dijkstra J and Dhanoa M. Growth functions and their application in animal sciences. Ann. Zootech 1996; 45: 165-174.

Jorge AM, Andrighetto C, Domingues DM, Golfetto C, Freitas VAD. Características Quantitativas da Carcaça de Bubalinos de Três Grupos Genéticos Terminados em Confinamento e Abatidos em Diferentes Estádios de Maturidade. Rev. Bras. Zootec. 2005; 34 (Suppl): 2376-2381.

Littell RC, Pendergast J and Natarajan R. Modeling covariance structure in the Analysis of Repeated Measures Data. In Statistical Modelling of Complex Medical Data in Medicine, R. B. D'Agostino, Ed., USA. 2004; 2:159 – 186.

Liu MF and Makarechian M. Optimum test period and associations between standard 140-day test period and shorter test periods for growth rate in station tested beef bulls. J. Anim. Breed. Genet. 1993; 110: 312– 317.

Lourenço JJ, da Costa NM, Araújo CV, Dutra S, Rossetto GA, Nahúm BdeS, Silveira de MJC and Brandão LdeM. Sistema silvipastoril na produção sustentável de búfalos para carne na pequena propriedade da amazônia oriental. Bioclimatologia Animal, Quinta-Feira. 2010; [Enero 12, 2011] URL: <http://www.bioclimatologia.ufc.br/lorenco.pdf>.

Malhado CHM, Ramos AA, Carneiro PLS, Souza JC, Wechsler FS, Eler JP, Azevêdo DMMR and Sereno JRB. Modelos no lineales para describir el crecimiento de bufalinos de la raza Murrah. Arch. Zootec. 2008; 57: 497-503.

Nephawe KA, Maiwashe A and Theron HE. The effect of herd of origin by year on post-weaning traits of young beef bulls at centralized testing centres in South Africa. S. Afr. J. Anim. Sci. 2006; 36: 33-39.

Pereira JCC. Melhoramento Genético Aplicado a Produção Animal. FEP-MVZ Ed. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. 1999. 496 p.

Perkins TL, Green RD and Hamlin KE. Evaluation of ultrasonic estimates of carcass fat thickness and longissimus muscle area in beef cattle. J. Anim. Sci. 1992; 70; 1002-1010.

Razook AG, Figueiredo LLa, Cyrillo JNSG, Pacola LJ, Bonilha NLM, Trovo JBF, Ruggieri LaC and Mercadante MYZ. Prueba de Ganancia de Peso Normas adoptadas por la Estación Experimental de Zootecnia de Sertãozinho. Nova Odessa, Sao Paulo, Brazil, Inst. Zootec. Tech. Bull. 1997. 40 p.

Realini CE, Williams RE, Pringle TD and Bertrand JK. Gluteus medius and rump fat depths as additional live animal ultrasound measurements for predicting retail product and trimmable fat in beef carcasses. *J. Anim. Sci.* 2001; 79: 1378–1385.

Schenkel FS, Miller SP, Jamrozik J and Wilton JW . Two step and random regression analyses of weight gain of station tested beef bulls. *J. Anim. Sci.* 2002; 80: 1497– 1507.

Schenkel FS, Miller SP and Wilton JW. Herd of origin effect on weight gain of station-tested beef bulls. *Livest. Prod. Sci.* 2004; 86: 93–103.

Tong AKW. Effects of initial age and weight on test daily gains of station-tested bulls. *Can. J. Anim. Sci.* 1982; 62: 671-678.

Tong AKW, Newman JA and Rahnefeld GW. Pretest herd effects on station performance test. *Can. J. Anim. Sci.* 1986; 66: 925-935.

Este capítulo se escribió bajo las normas de la revista **JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE**. Actualmente está en proceso de evaluación.

Running Head: Random regression buffalo growth curves

CAPÍTULO 3. Growth curves for buffaloes using random regression mixed models with different structures of residual variances¹

D. M. Bolívar^{2†*} M. F. Cerón-Muñoz^{‡*}, M.A. Elzo[§], E. J. Ramírez^{*}, D. A. Agudelo^{#*}

† Faculty of Agricultural Sciences, National University of Colombia, Calle 59A No 63-20, Medellín, Antioquia, Colombia; ‡ Faculty of Agricultural Sciences, University of Antioquia, Carrera 75 N° 65-87, Medellín, Antioquia, Colombia; § Department of Animal Sciences, University of Florida, Gainesville, FL 32611-0910, USA; # School of Management and Agricultural Sciences, University Corporation Lasallian, Carrera 51 N°118Sur – 57, Caldas, Antioquia, Colombia; *Genetics, Animal-Improvement, and Modeling Research Group, GAMMA, University of Antioquia, Colombia.

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze buffalo growth based on body weight, *Longissimus dorsi* muscle area (**AOL**), and fat deposition over the hip (**FOH**) using random

¹ Project supported by the Ministry of Agriculture and Rural Development of Colombia, the University of Antioquia, Lasallian University Corporation and the Colombian Association of Buffalo Breeders. Agreement between University of Antioquia and Fundación Universitaria San Martín for training of graduate students. The authors are thankful all the people who were linked to the project, especially the students of the University of Antioquia for their support in the Experimental Station.

² Corresponding author: D. M. Bolívar, Faculty of Agricultural Sciences, National University of Colombia, Calle 59A No 63-20, Medellín, Antioquia, Colombia; Tel: 57 4- 430 90 25; Fax: 57 4- 430 90 25; Email: dboliva@unal.edu.co.

regression mixed models of first (**FORM**) and second order (**SORRM**), each with nine different variance structures. Ten measurements for each trait were taken on 26 animals during the first performance test (93 d test plus 23 d adaptation period) developed for buffaloes in Colombia. Computations were performed using the lme procedure of the nlme library of program R. Preliminary analyses determined that an SORRM was appropriate for BW and FOH and an FORM was suitable for AOL. The maximum likelihood ratio (**MLR**), the Akaike information criterion (**AIC**) and the Bayesian information criterion (**BIC**) were used to compare models. The best models were an SORRM with homogeneous residual variances for BW, an FORM with heterogeneous animal residual variances for AOL, and an SORRM with heterogeneous residual variances among farms times an exponential function of age for FOH. Heterogeneity of residual variances was likely due to environmental differences among farms, and to genetic differences among buffaloes not accounted for by FORM and SORRM. Fixed intercepts with the best models for each trait were 227 ± 7.90 kg for BW, 34.82 ± 0.99 cm² for AOL, and 4.19 ± 0.229 mm for FOH. Fixed linear regression coefficients were 1.289 ± 0.073 g / d for BW, 0.0584 ± 0.0042 cm² / d for AOL, and 0.0035 ± 0.0032 mm / d for FOH. The fixed quadratic regression coefficient indicated that BW rate decreased after one year of age whereas FOH rate continued to increase until the end of the test. Random regression coefficients suggested that there was considerable variability among trait curves for individual buffaloes, particularly for FOH. The evaluated residual variance structures did not eliminate completely the heterogeneity of variances.

Keywords: buffalo, growth curves, performance test, random regression, residual variances

INTRODUCTION

Experiments with repeated measures are common in livestock research (ZooBell et al., 2003; Wang and Goonewardene, 2004). In most cases, multiple observations per experimental unit are taken over time. The usual assumptions of independence and homogeneity of variances are usually not valid for data analysis in such experiments because the measurements made in the same animal are often correlated with each other and the variances between measurements may be different. Mixed model methodology allows for correct and efficient data analysis of experiments with repeated measures through modeling of the covariance structure, considering the correlations between repeated measures and the presence of heterogeneous variances (Littell et al., 1998; Wang et al., 2006).

Growth is one of the factors of greatest economic importance in beef production systems. Mixed models can be used to describe growth of farm animal species. Incorporating random effects in the models permits accounting for variability among growth curves from individual animals within a population (France et al., 1996; El Halimi, 2005). This is useful in breeding programs because it helps to choose the fastest growing animals without altering their adult weight (Malhado, 2008). In addition, it allows to classify the productivity of a breed, a production system or a given population, and to measure genetic changes from one generation to another (Agudelo et al., 2008).

The objective of this study was to analyze buffalo growth based on body weights, *Longissimus dorsi* muscle areas, and fat thicknesses over the hip using random regression mixed models with different residual variance structures, and data from the first performance test developed in Colombia for this species.

MATERIALS AND METHODS

Location

The performance test was conducted at the Experimental Center of the University of Antioquia, located in the municipality of Barbosa, Antioquia, Colombia. This area is classified as subtropical moist forest. It has an average altitude of 1300 m above sea level, an average annual temperature of 23 °C, and an average annual precipitation of 1800 mm / year.

Animals and Diet

A total of 26 buffaloes were used in the performance test. Animals came from four breeding farms where milking was not practiced. Farms were located in the municipalities of Buenavista and Ayapel (Córdoba province), Cimitarra (Santander) and Norcasia (Caldas). The performance test was conducted between July and October 2009 for a period of 116 days. There was an adjustment period of 23 d, and the evaluation period lasted 93 d. Animals entered the test at an average age of 285 ± 25.72 d with an average weight of 261 ± 29 kg, and they reached an average weight of 342 ± 39.08 kg at the end of the test.

Animals were confined in 16 m^2 individual pens, with cement floor, without bedding, and with a covered area of 4 m^2 where feeders and drinkers were located. The diet consisted of fresh cut Maralfalfa grass (*Pennisetum sp.*) plus two kilograms of a feed supplement per day. The supplement ingredients were corn (50%), corn protein (10%), extruded soybeans (15%), soybean meal (10%), extruded corn (10%), mineral salt containing 8% phosphorus (2%), calcium carbonate (1%), and 2% of a vitamin and mineral premix. The pasture had 9% CP, 4.0 Mcal / kg GE, 37% NDF, and 75% ADF. The supplement had 17% CP, 2.84 Mcal / kg GE, and 75% TDN.

Traits

A total of 10 measurements per trait were taken over the 116 d of the performance test, 3 measurements during the adjustment period and 7 measurements during the test period. Animals were weighed (BW) after 12 hr of fasting. Area of the *Longissimus dorsi* (AOL) and fat thickness over the hip (FOH) were measured by ultrasound, using an Akila-Pro equipment (Esaote Europe BV, Maastricht, The Netherlands) with a 3.5-MHz, 18cm transducer. Images were measured with the Eview program (Pie Medical, Maastricht, The Netherlands; Pie Medical Equipment B. V., 1996). Images were collected for AOL between the 12th and the 13th rib and for FOH at the junction of the biceps femoris and gluteus medius between the ischium and ilium and parallel to the vertebral column (Jorge et al., 2005; Urdapilleta et al., 2005).

Statistical Analysis

Data were first analyzed using additive random regression mixed models of first order (FORRM; Model 1) and of second order (SORRM; Model 2), both with homogeneous residual variance structures. These 2 base models were as follows:

$$y_{ij} = (\beta_0 + b_{0i}) + (\beta_1 + b_{1i}) X_j + e_{ij} \quad \text{Model 1}$$

$$y_{ij} = (\beta_0 + b_{0i}) + (\beta_1 + b_{1i}) X_j + \beta_2 X_j^2 + e_{ij} \quad \text{Model 2}$$

Where: y_{ij} : is a BW, AOL and FOH record measured in the i-th animal at the j-th age; β_0, β_1 and β_2 : fixed intercept, linear regression coefficient, and quadratic regression Coefficient averaged over all animals,; X_j : is the j-th age; e_{ij} : is the random residual due to effects not considered in the model, where $e_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$, and b_{0i} and b_{1i} : random intercept and linear

regression coefficient for the i -th animal, representing random deviations from the β_0 y β_1 fixed regression coefficients, respectively, where $\begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \end{bmatrix} \sim N\left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, I * \begin{bmatrix} \sigma_{b_0}^2 & \sigma_{b_0 b_1} \\ \sigma_{b_1 b_0} & \sigma_{b_1}^2 \end{bmatrix}\right)$. Animals were assumed to be unrelated, thus covariances between random intercepts and random linear regression coefficients among different animals were assumed to be zero.

Linear mixed models of first, second and third order with one (β_0), two (β_0, β_1) and three ($\beta_0, \beta_1, \beta_2$) random parameters were compared using Likelihood Ratio Tests in preliminary analyses. It was determined that an SORRM was appropriate for BW and FOH and an FORMM with two random parameters (β_0, β_1) was appropriate for AOL.

Subsequently, 9 heterogeneous residual variance structures (Table 1) were evaluated within models 1 and 2. Computations were carried out with the lme procedure of the nlme library of the R program (R Development Core Team, 2008). The nlme library variance functions were used to model the 9 heterogeneous residual variance structures (Pinheiro and Bates, 2000). The variance covariate used for all structures was the discrete variable age of animal. Structures 3 and 4 took into account the variance among individual animals and among farms, respectively. The R function used for these 2 residual structures was varIdent as suggested by Zuur et al. (2009) for discrete variance covariates. For structure 5, the residual variance was modeled as σ^2 times the absolute value of age of animal raised to the power of 2δ using R function varPower, where δ is unknown and must be estimated. Parameter δ has no restrictions, thus it can take any value (Pinheiro and Bates, 2000; Zuur et al., 2009). For structure 6, residual variances were calculated as σ^2 multiplied by an exponential function of 2δ times the age of animal using R function varExp. Notice that this structure allows age to be zero, thus for cases where the variance covariate may be zero this structure is a good choice (Zuur et al., 2009). Residual variance structure 7 is a constant plus a variance covariate power function. It was computed with

R function `varConsPower`. According to (Pinheiro and Bates, 2000), structure 7 works better than the exponential when the variance covariate takes values close to zero. Structures 8, 9, 10 and 11 were combination of previous residual covariance structures. Structure 8 allows residual variance structure 6 to vary among individual animals, whereas structure 9 permits residual variance structure 7 to vary among individual animals. Similarly, structure 10 allows residual variance structure 6 to vary among farms, while structure 11 let residual variance structure 7 vary among farms. Variances were estimated using restricted maximum likelihood procedures (Harville, 1977; Searle et al., 1992) and computed by the `lme` procedure of the R program.

Because heteroscedasticity may not have a single origin, residual diagnostic plots were generated according to various factors (farm, animal, age, and measurement). Considering that farm, animal, age, and measurement are discrete variables, boxplot-type graphs were used.

Animals in the performance test came from farms that had different climatic conditions and used different production systems (direct grazing of different forage species). Thus, it was necessary for them to get adjusted to the conditions of the performance test (climate, confinement, fed cut grass instead of direct grazing). To evaluate the importance of the adjustment period, the 9 models were run first with all 10 measurements for the 3 traits, and then with only the 7 measurements of the evaluation period (i.e., without the first 3 measurements of the adaptation period).

Model Comparison

The FORRM and SORRM with homogeneous residual variance structures (models 1 and 2) were nested within models that assumed heterogeneous structures (models 3 to 11). Here, nested meant that these models and their variance structures could be recreated from other models and their variance structures by setting specific parameters to zero (Zuur et al., 2004).

For example, models 1 and 2 could be recreated from corresponding models with residual variance structure 5 by setting parameter δ to zero. Because models 1 and 2 were nested within models 3 to 11, the Likelihood Ratio Test (LRT) was used to compare these nine models to models 1 and 2 (Zuur et al., 2009). Models that differed significantly from models 1 and 2 using the LRT were compared with each other using the Akaike Information Criterion (AIC; Akaike, 1974) and the Bayesian Information Criterion (BIC; Schwarz, 1978).

RESULTS AND DISCUSSION

Body Weight

Figure 1 shows graphs of residuals for BW estimated by model 2 assuming homogeneity of residual variances, both including all measurements of the performance test (left-hand side), and eliminating the 3 measurements taken during the initial adaptation period (right-hand side). After measurements obtained during the adaptation period were eliminated, there was a significant decrease in the size of the normalized residuals (Panel A), and residuals by age (Panel B), by farm (Panel C), by measurement (Panel D) and by animal (Panel E). Furthermore, when the 9 heterogeneous residual variance structures were analyzed using all measurements, the LRT found significant differences between models with heterogeneous residual variance structure 5 ($P < 0.0413$), 6 ($P < 0.0001$), 8 ($P < 0.0017$), 9 ($P < 0.0026$), 10 ($P < 0.0002$) and 11 ($P < 0.0043$) and model 2 that assumed homogeneity of variances. In contrast, when the adjustment period was excluded, no significant differences were found between models with heterogeneous variance structures and model 2 (Table 2). These results confirm the importance of considering an adjustment period to allow animals from different production systems to get adjusted to the new environment at the performance test station, leading to a similar residual variation among animals

of all farms (Figure 1, Panel C). Exclusion of measurements from the adjustment period was enough to obtain greater homogeneity of variances for residuals for BW. Thus, model 2 was the best model to evaluate buffaloes for BW during the performance test.

Although residuals per animal decreased significantly, there were still heterogeneous variances, possibly a consequence of carry over environmental effects from their farms of origin not eliminated by the adjustment period, and perhaps genetic differences among animals not accounted for by the additive random regression models used here. Buffaloes entered the test with a maximum age difference of 73 d and an initial weight difference of 91 kg (215 to 306 kg). This maximum weight difference increased to 168 kg at the end of the test (244 to 412 kg). In addition, individual differences were observed in growth curves. For example, animals 14 and 21 grew slowly at the beginning and then the gain increased. On the other hand, animal 12 grew faster at the beginning and slowed down at the end, while animal 6, had a similar growth rate throughout the evaluation period. These differences in growth patterns may help explain the higher residual variances obtained from these individuals (Figure 1).

Estimates for fixed regression genetic effects were similar for all models. The estimate for β_0 , associated with initial weight, fluctuated between 208 ± 7.28 and 214 ± 6.76 kg when all measurements were considered, and between 225 ± 7.86 and 228 ± 7.90 kg without measurements from the adjustment period. The estimate for β_1 , associated with growth rate, ranged from 0.975 ± 0.048 to 1.092 ± 0.056 kg / d with all measurements considered, and between 1.289 ± 0.073 and 1.331 ± 0.066 kg / d without the measurements of the adjustment period. Lastly, the estimate for β_2 ranged from -0.0001 ± 0.0002 to -0.0016 ± 0.00021 kg / d for all measurements, and between -0.0030 ± 0.0003 and -0.0033 ± 0.0002 kg / d without the measurements of the adjustment period. By eliminating the measurements of the adjustment

period, β_1 became larger, indicating greater weight gain during the evaluation period, because animals got adjusted to the environmental conditions of the performance test station, thus they could express their genetic potential for growth.

A linear mixed model of second order was used by Ramírez et al. (in press), to describe growth of 123 buffaloes castrated males from 12 months to slaughter. These authors estimated a fixed effects lower than those found in this study, with values of 183.69 kg, 0.948 kg / d -0.00061 kg / d for β_0 , β_1 y β_2 , respectively. These results can be explained by differences in physiological status (castrated vs. non-castrated buffaloes) and the feeding system (grazing vs. confinement).

The average weight at the start of the test (261 kg $\pm$ 29) was similar to those reported by Lourenço et al. (2010) in Eastern Amazon Embrapa (Belém, Pará, Brazil) for Murrah buffaloes in 2 weight gain performance tests (265 and 273 kg). This suggests that the genetic potential of the buffaloes used in the performance test here was comparable to that of buffaloes in the 2 tests in Brazil, a country with one of the largest buffalo populations with a well-established genetic improvement program. Malhado et al. (2008), evaluated the weight at different ages of Mediterranean buffaloes using the database of buffalo breeding program in Brazil (PROMEBUL), obtaining an adjusted weight at 365 days of age similar to that obtained in this research (302 kg), confirming the genetic potential of buffaloes used in this test.

The daily gains obtained by Lourenço et al. (2010) were 911 and 969 g / d in the first and second trials, during the 224 day trial (after the adjustment period), which were lower than that obtained here. The daily gains obtained during the adaptation period (70 days) by Lourenço et al. (2010) were very low (257 and 285 g), indicating the importance of taking this period into account.

Crudeli et al. (2007) reported 282.4 kg weaning weight at seven months for 170 Mediterranean buffaloes in Argentina, which is higher than the weight at the start of performance test here. However, these authors also reported a 335.9 kg average weight at 18 months of age. This is lower than that the average weight of 343 kg obtained in the performance test at 14 mo of age here. Lower weights were also reported by Jorge et al. (2005) for Murrah buffaloes reared on pasture (251 kg at 12 months), by Nogueira et al. (1989) for buffaloes reared at pasture in the northwest of São Paulo, Brazil (301 and 310 kg at 12 months for Mediterranean and Jafarabadi buffaloes, respectively) and Barbosa et al. (1988) for Mediterranean buffaloes (299 kg at 12 months).

Random effects yielded similar values for the standard deviation of b_0 and b_1 , and for the covariance between b_0 and b_1 for all models, with a higher degree of similarity when measurements for the adjustment period were discarded (Table 2). However, the standard deviation of residuals varied widely across models when all measurements were considered (from 2.72 kg for model 3 to $2.45e^{+08}$ kg for model 9), whereas they differed minimally among models when measurements from the adjustment period were eliminated (Table 2).

Ramírez et al. (in press), reported in a group of buffalos tested from 12 months of age to slaughter higher values for standard deviation of b_0 and b_1 (41.58 and 2.87, respectively), indicating less variability between animals in the performance test. By contrast, the standard deviation for residuals reported by Ramírez et al. (in press) were higher, which can be explained by the greater control of environmental conditions on the performance test and the use of models that take into account heterogeneous residual variances.

Longissimus Dorsi Muscle Area

As for BW, analyses for AOL were performed taking into account all measurements and eliminating those from the adjustment period. Similar impact of measurements from the adjustment period on residuals were observed for AOL, thus only results from analyses without measurements from the adjustment period are presented here.

Box-plot graphs showed an increase in standardized residual values when plotted against fitted values. Similarly, residual values increased with age of the animal. Box-plots also revealed heterogeneity of residual variability among farms, measurements, and animals. Thus, unlike BW, eliminating measurements from the adjustment period was insufficient to reduce residuals and improve the homogeneity of variances. When comparing models with heterogeneous residual variance structure, significant differences (Table 3) were found with the LRT between models with structures 3 ($P < 0.0288$), 8 ($P < 0.0312$) and 9 ($P < 0.0309$) and model 1 (homogeneous variances). Model 3, which assumed a different residual variance for each animal showed the lowest AIC and BIC values (Table 3), thus it was considered to be the best model to analyze AOL. There was no clear evidence of heterogeneity with this model (Figure 2, Panel A) and there was higher uniformity by age (Figure 2, Panel B). However, although there was a reduction of the size of the residuals by farm, measurements, and animal (Figure 2, Panels C, D and E), heterogeneity of residual variances still remained.

As previously indicated, animals were exposed to different climatic, feeding, and management conditions in their farms of origin. Buffaloes in each of the 4 farms were also likely to be genetically different subpopulations. Thus, although animals entered at a similar age, initial AOL ranged from 25.10 to 45.20 cm², a difference that was maintained until the end of the test, with values between 35.65 and 53.95 cm². Similarly, there were differences among animals in tissue deposition, which may help explain the heterogeneous residual variances. For example, animals 3, 6 and 7 showed no muscle deposition at the start of the test, and then they exhibited a

high rate of growth, whereas animals 2 and 8 had high growth rate at the beginning of the test, and subsequently their growth rate became exceedingly slow. The highest residual variances were observed for these 5 animals (Figure 2).

Comparable fixed regression genetic parameters were observed among models. The estimate for β_0 , associated with the initial AOL, was between 34.51 ± 1.01 and 34.91 ± 0.99 cm², and the estimate for β_1 , associated with the growth rate, was between 0.0572 ± 0.0040 and 0.0620 ± 0.0042 cm²/d. Ramírez et al. (in press), reported 20.3 cm² at 12 months for buffalo males, which is lower than the AOL at the start of performance test here, but the growth rate (β_1) was higher (0.124 cm² / d) than that obtained in this work. The higher growth rate may have been due to a longer evaluation period (from 12 months to slaughter), allowing for more muscle deposition produced at an older age (Berg and Butterfield, 1976).

Similar random regression genetic effects were also obtained across models. The standard deviation of b_0 (σ_{b_0}) and the standard deviation of b_1 (σ_{b_1}) related to individual animals ranged from 4.914 to 5.035 cm², and from 0.0159 to 0.0172 cm² / d, respectively. On the other hand, the standard deviation for residual effects was substantially different across models, with values ranging from 0.001 to 4.796 cm². Ramírez et al. (in press), reported a lower σ_{b_0} (3.71), which indicates a greater variability between animals in the performance test and a higher standard deviation for residuals (4.92), which can be explained by the greater control of environmental conditions on the performance test and the use of models that take into account heterogeneous residual variances

Fat Thickness Over the Hip

Inclusion of measurements taken during the adjustment period had similar effects on models as for BW and AOL. Thus, only FOH results obtained without measurements from the adjustment period are shown. Box-plots of residuals estimated for FOH with model 2 assuming homogeneity of variances suggested that there was a violation of the assumption of homogeneity of residual variances. Box-plot graphs showed an increase in standardized residual values when plotted against fitted values (Figure 3, Panel A). Similarly, residual values increased with age of the animal, coinciding with the greater residual observed in the last three measurements (Figure 3, Panels B, D). Heterogeneity of residual variance also existed among farms (Figure 3, Panel C). Farm 1 had the largest residual, perhaps because the body condition (closely associated with fat deposition) of buffaloes from this farm entering the performance test was highly variable. Residual variability among animals also differed widely (Figure 3, Panel E). Animal 23 had the highest variance and it also was the buffalo that deposited fat at the fastest rate.

Table 4 shows the estimates of regression parameters obtained by the models with different variance structures and comparison criteria. All models were significantly different from model 2 (homogeneous variances). The best model (lowest AIC and BIC values) was model 10. This model took into account the variance for each farm and an exponential variance for age. Figure 5 shows the graphs of residuals for FOH, estimated by model 10. Figures 4 and 5 (Panel A) show that heterogeneity of residual variances was substantially corrected. However, a clear heterogeneity of variance due to age (Panel B) was still observed, and this heterogeneity increased with age and measurement (Panel D). This increase in residual variance for FOH can be explained by an increase in fat deposition as the animal grows (Putrino et al., 2006). Heterogeneity of variance due to farm (Panel C) and animal (Panel E) was only partially corrected by model 10.

In agreement with BW and AOL, animals diverged widely in FOH at the beginning of the test, with values ranging from 2.53 to 6.40 mm. Although residuals per animal decreased significantly, there were still heterogeneous variances, possibly a consequence of carry over environmental effects from their farms of origin not eliminated by the adjustment period, and perhaps genetic differences among animals not accounted for by the additive random regression models used here. The growth of muscle and fat appears to vary widely between groups of animals (Shuey et al., 1993; Crews and Kemp, 2001; Silva et al., 2002) while the growth of bone appears to be similar regardless of the type of cattle (Silva et al., 2002).

Similar values for fixed and random regression coefficients were obtained for all models. Estimates for β_0 ranged from 4.19 ± 0.23 to 4.48 ± 0.28 mm and for β_2 fluctuate between 0.00005 ± 0.00002 and 0.00009 ± 0.00002 mm. Estimates for β_1 were low and ranged from negative to positive values. Seven models yielded negative values indicating fat loss (models 2, 3, 4, 5, 7, 8, and 9), whereas 3 models (6, 10, and 11) had positive values indicating that animals had fat gains during the performance test. Estimates for β_1 ranged from -0.0042 ± 0.0045 to 0.0035 ± 0.0033 .

Values obtained for β_0 were higher than those reported by Ramírez et al. (in press), who obtained a value of 0.65 mm for male buffalo at 12 months old. These authors reported a higher growth rate (0.042 mm / d) and negative β_2 (-0.0004 mm / d). These differences may be explained by the age of the animals tested, since the process of accumulation in animal tissue has certain rules of priority: first grow the viscera, then the bone and muscle tissue and finally the adipose tissue (Cavalho et al., 2003). In this study, the animals entered an age of 285 days and ended with 401 days of age (13.4 months), while Ramírez et al. (in press) assessed the animals from 12 months of age until slaughter.

The standard deviations for random regression animal effects b_0 (σ_{b_0}) and b_1 (σ_{b_1}) fluctuated between 0.981 and 1.061 mm and between 0.0077 and 0.0098 mm / d, respectively. As estimated for BW and AOL, estimates of residual standard deviations varied widely among models, with values ranging from 0.000018 to 0.221 mm. Ramírez et al. (in press), reported a higher σ_{b_0} (1.25 mm), indicating less variability between animals in the performance test and a higher σ_{b_1} (0.055 mm / d) which means greater variability in the rate of fat deposition in animals used in the study of Ramírez et al. (in press), because these were assessed to the sacrifice, reaching older and depositors more fatty tissue (fat deposition occur at a later age: Berg and Butterfield, 1976; Cavalho et al., 2003), can better see the difference between animals. These authors reported a higher standard deviation for residuals (1.46), which can be explained by the greater control of environmental conditions on the performance test and the use of models that take into account heterogeneous residual variances.

CONCLUSION

The evaluated residual variance structures did not eliminate completely the heterogeneity of variances. Heterogeneity was likely due to environmental differences among farms where animals originated from, and to genetic differences among buffaloes not accounted for by the random regression additive genetic models used here. When BW was analyzed without the 3 weights taken during the adjustment period, residuals were substantially reduced and weight gain increased, showing the importance of allowing buffaloes sufficient time to adjust to the environment at the performance test station. There was no reduction of residuals for AOL and FOH when the adjustment period was eliminated. The best models to describe buffalo growth in this performance test were model 2 with homogeneous residual variances for BW, model 1 with

different residual variances for each animal for AOL, and model 2 with heterogeneous residual variances among farms times an exponential function of age for FOH. Estimates of genetic fixed and random regression coefficients were similar across models, however residual variances varied considerably. Rate of BW change decreased after one year of age, while rates of muscle (AOL) and fat (FOH) deposition continued to increase until the end of the performance test. Growth curves for individual animals showed considerable variation, particularly for fat.

LITERATURE CITED

- Barbosa, C., J. R., Nogueira, J. C. A., Mattos. 1988. Desempenho de bubalinos da raça Mediterrâneo (leiteiros) para a produção de carne. *Comun. Cient. Fac. Med. Vet. Zootec.*, São Paulo. 12: 173-235.
- [Agudelo, G. D. A.](#), M. F. [Cerón-Muñoz](#) and L. F. B. Restrepo. 2008. Modelación de las funciones de crecimiento aplicadas a la producción animal. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu.* 21:39-58.
- Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. *Trans. Autom. Control* 19:716-723.
- Berg, R. T., R. M., Butterfield. 1976. New concepts of cattle growth. Ed. Sidney Univ. Press. Australia, 240 p. <http://ecommons.library.cornell.edu/handle/1813/1008> Accessed Dec. 20, 2010.
- Carvalho, P. A., L. M., Bonnacarrère, C. C., Pires, J., Viégas, J. P., Velho, W., Paris. 2003. Composição Corporal e Exigências Líquidas de Proteína e Energia para Ganho de Peso de Bezerros Machos de Origem Leiteira do Nascimento aos 110 Dias de Idade. *Rev. Bras. Zootec.* 32: 1484-1491.

- Crews, D.H. and R. A. Kemp. 2001. Genetic parameters for ultrasound and carcass measures of yield and quality among replacement and slaughter beef cattle. *J. Anim. Sci.* 79:3008–3020.
- Crudeli, G., D. Pochon, M. Olazarri, N. Monzón, L. Chaparro, S. Flores, E. Patiño and J. Cedrés. 2007. Morphometric evaluation of male Mediterranean buffaloes in Northern Corrientes, Argentina. *Ital. J. Anim. Sci.* 6 (Suppl. 2): 1281-1283.
- El Halimi, R. 2005. Nonlinear mixed-effects models and nonparametric inference. PhD Diss., Univ. Barcelona, Spain.
- France, J., J. Dijkstra, and M. Dhanoa. 1996. Growth functions and their application in animal sciences. *Ann. Zootech.* 45: 165-174.
- Gaona, B. 2005. Matrices de covarianza estructuradas en modelos con medidas repetidas. MS Thesis, Univ. Puerto Rico, Mayagüez.
- Harville, D. A. 1977. Maximum likelihood approaches to variance component estimation and to related problems. *J. Am. Stat. Assoc.* 72:320-338.
- Jorge, A. M., C. Andrighetto, D. M. Domingues, C. Golfetto, and V. A. D. Freitas. 2005. Características Quantitativas da Carcaça de Bubalinos de Três Grupos Genéticos Terminados em Confinamento e Abatidos em Diferentes Estádios de Maturidade. *Rev. Brasileira de Zootecnia.* 34 (Suppl): 2376-2381.
- Littell, R. C., P. R. Henry and C. B. Ammerman. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *J. Anim. Sci.* 76:1216-1231.

- Littell, R. C., J. Pendergast and R. Natarajan. 2004. Modelling covariance structure in the Analysis of Repeated Measures Data. Pages 159-185 in Statistical Modelling of Complex Medical Data in Medicine. R. B. D'Agostino ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Lourenço, J. J. de B, N. M. da Costa, C. V. Araújo, S. Dutra, G. A. Rossetto, B. de S. Nahúm, de M. J. C. Silveira and L. de M. Brandão. 2010. Sistema silvipastoril na produção sustentável de búfalos para carne na pequena propriedade da amazônia oriental. *Bioclimatologia Animal*, Quinta-Feira 3 p. <http://www.bioclimatologia.ufc.br/lorenco.pdf>. Accessed Feb. 15, 2010.
- Malhado, C. H. M., A. A. Ramos, P. L. S. Carneiro, J. C. Souza, F. S. Wechsler, J. P. Eler, D. M. M. R. Azevêdo and J. R. B. Sereno. 2008. Modelos no lineales para describir el crecimiento de bufalinos de la raza Murrah. *Arch. Zootec.* 57: 497-503.
- Nogueira, J.R., C, Barbosa, J. C. A., Mattos. 1989. Peso ao nascer e desenvolvimento ponderal de bubalinos das raças Mediterrâneo e Jafarabadi. *Boletim de Indústria Animal*, Nova Odessa, SP. 46: 193-198.
- Pie Medical Equipment B. V. 1996. Eview – Echo Image Viewer. Version 1.0. Maastricht, The Netherlands.
- Pinheiro, J. C. and D. M. Bates. 2004. *Mixed-Effects Models in S and S-PLUS*. Springer, NY.
- Putrino, S. M., P. R. Leme, S. Silva, G. F. Alleoni, D. P. D. Lanna and C. Grossklaus. 2006. Exigências líquidas de proteína e energia para ganho de peso de novilhos Nelore alimentados com dietas contendo grão de milho úmido e gordura protegida. *Rev. Bras. Zootec.* 35: 301-308.

- Ramírez, E. J., J. A., Mesa, D. A., Agudelo, D. M., Bolívar and M. F., Cerón-Muñoz. 2011. Using mixed models to describe growth in buffaloes. *Livestock Research for Rural Development* (In press).
- R Development Core Team. 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>. Accessed Jan. 7, 2010.
- Searle, S. R., G. Casella, and C. E. McCulloch. 1992. *Variance Components*. John Wiley & Sons, NY.
- Segura, J. C. and M. M. Osorio. 2002. Choice of phenotypic (co)variance structure for test day records in Bos Taurus x Bos indicus cows under a dual-purpose cattle system. *Livest. Res. Rural Dev.* 14 (1). <http://www.lrrd.org/lrrd14/1/segu141.htm>. Accessed Feb. 20, 2010.
- Schwarz, G. 1978. Estimating the dimension of a model. *Ann. Stat.* 6:461-464.
- Silva, F. F., S. C., Valadares Filho, L. C., Vinhas, C. M., Veloso and R.F., Diniz, P. R. Cecon, P. V., Rodrigues, E. B., Kling de Moraes. 2002. Composição Corporal e Requisitos Energéticos e Protéicos de Bovinos Nelore, Não-Castrados, Alimentados com Rações Contendo Diferentes Níveis de Concentrado e Proteína. *Rev Bras Zootec.* 31(Suppl): 503-513.
- Shuey, S. A., C. P. Birkelo and D. M. Marshall. 1993. The Relationship of the Maintenance Energy Requirement to Heifer Production Efficiency. *J. Anim. Sci.* 71: 2253-2259.

- Urdapilleta, T., L. J. F. Piva, T. A. Kroef and I. S. M. Glauco. 2005. Relação entre Medidas Ultra-Sônicas e a Espessura de Gordura Subcutânea e a Área de Olho de Lombo na Carcaça em Bovinos de Corte. *Rev. Bras. Zootec.* 34: 2074-2084.
- Wang, Z. and L. A. Goonewardene. 2004. The use of Mixed models in the analysis of animal experiments with repeated measures data. *Can. J. Anim. Sci.* 84:1-11.
- Wang, Z., J. D. Nkrumah, C. Li, J. A. Basarab, L. A. Goonewardene, E. K. Okine, D. H. Crews, Jr. and S. S. Moore. 2006. Test duration for growth, feed intake, and feed efficiency in beef cattle using the GrowSafe System. *J. Anim. Sci.* 84: 2289-2298.
- ZoBell, D. R., L. A. Goonewardene, K. C. Olson, C. A. Stonecipher and R. D. Weidmeier. 2003. Effects of feeding wheat middlings on production, digestibility, ruminal fermentation and carcass characteristics in beef cattle. *Can. J. Anim.* 83:551-557.
- Zuur, A. F., E. N. Leno, N. J. Walker, A. A. Savelieu and G. M. Smith. 2009. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R.* Springer, NY.

Table 1. Residual variance-covariance structures evaluated in 2 random regression mixed models to describe the growth of buffaloes in a performance test

Function name in R program	Variance structure	Structure
varIdent: Different variances per animal	$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n1}^2)$	3
varIdent: Different variances per farm of origin of animal	$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n2}^2)$	4
varPower: power of the variance covariate age of animal	$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2 * age_{ij} ^{2\delta})$	5
varExp: Exponential of the variance covariate age of animal	$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2 * e^{2\delta * age_{ij}})$	6
varConstPower: Constant plus power of the variance covariate age of animal	$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2 * (\delta_1 + age_{ij} ^{\delta_2})^2)$	7
varComb: Combination of functions	$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n1}^2 * e^{2\delta * age_{ij}})$	8
varComb: Combination of functions	$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n1}^2 * age_{ij} ^{2\delta})$	9
varComb: Combination of functions	$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n2}^2 * e^{2\delta * age_{ij}})$	10
varComb: Combination of functions	$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n2}^2 * age_{ij} ^{2\delta})$	11

ε_{ij} = residual for the i -th animal of the j -th age; age_{ij} = explanatory variable used in the variance of the residuals (i.e., variance covariate); $n1 = 26$ (number of animals); $n2 = 4$ (number of farms); δ, δ_1 and δ_2 = coefficients of variance functions (are unknown and must be estimated).

Table 2. Parameters for body weight estimated by a second-order random regression mixed model with different residual variance structures, in buffaloes under a performance test

Variance structure		Fixed effects			Random effects				Criteria		
		β_0	β_1	β_2	σ_{b_0}	σ_{b_1}	σ_e	$\rho_{b_0b_1}$	AIC	BIC	LRT ¹
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$	2	227 ± 7.90	1.289 ± 0.073	-0.0031 ± 0.0003	37.60	0.198	3.44	-0.56	1232	1254	
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n1}^2)$	3	226 ± 7.87	1.329 ± 0.066	-0.0033 ± 0.0002	38.22	0.209	2.32	-0.58	1253	1355	28.64 (0.2793)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n2}^2)$	4	226 ± 7.98	1.324 ± 0.073	-0.0033 ± 0.0003	38.13	0.206	3.56	-0.58	1235	1267	2.87 (0.4118)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2 * age_{ij} ^{2\delta})$	5	227 ± 7.88	1.289 ± 0.073	-0.0031 ± 0.0003	37.59	0.198	0.63	-0.56	1234	1259	0.25 (0.6191)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2 * e^{2\delta * age_{ij}})$	6	228 ± 7.90	1.279 ± 0.073	-0.0030 ± 0.0003	37.50	0.195	4.07	-0.56	1233	1258	0.82 (0.3664)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2 * (\delta_1 + age_{ij} ^{\delta_2})^2)$	7	227 ± 7.88	1.289 ± 0.073	-0.0031 ± 0.0003	37.59	0.198	0.63	-0.56	1236	1264	0.25 (0.8837)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n1}^2 * e^{2\delta * age_{ij}})$	8	227 ± 7.86	1.297 ± 0.066	-0.0031 ± 0.0002	37.92	0.201	3.43	-0.57	1253	1358	31.17 (0.2218)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n1}^2 * age_{ij} ^{2\delta})$	9	226 ± 7.85	1.315 ± 0.066	-0.0033 ± 0.0002	37.98	0.205	3.96	-0.57	1253	1358	30.64 (0.2419)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n2}^2 * e^{2\delta * age_{ij}})$	10	226 ± 7.97	1.314 ± 0.073	-0.0032 ± 0.0003	38.00	0.203	3.96	-0.57	1237	1272	3.21 (0.5228)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n2}^2 * age_{ij} ^{2\delta})$	11	225 ± 7.86	1.331 ± 0.066	-0.0033 ± 0.0003	38.22	0.208	1.00	-0.58	1237	1272	2.95 (0.5663)

ε_{ij} = residual for the i -th animal of the j -th age; age_{ij} = explanatory variable used in the variance of the residuals (i.e., variance covariate); $k = 1, \dots, 26$ (number of animals) for residual structure 3, and $k = 1, \dots, 4$ (number of farms) for residual structure 4; δ , δ_1 and δ_2 = function coefficients of variance are unknown and must be estimated. β_0 = intercept, corresponding to the initial animal weight (kg); β_1 and β_2 = regression coefficients associated with the predictor (age), explaining changes during the performance test (kg / d). σ_{b_0} : standard deviation of intercept (kg); σ_{b_1} : standard deviation of growth rate (kg / d); $\rho_{b_0b_1}$: correlation between the intercept and growth rate; σ_e : standard deviation of error (kg). AIC = Akaike Information Criterion, BIC = Bayesian Information Criterion; LRT = Likelihood Ratio Test.

¹Test conducted between models with heterogeneous variance structures (3-11) and the model that assumes homogeneity of variance (2). Values in parentheses correspond to the level of significance

Table 3. Parameters for *Longissimus dorsi* muscle area estimated by a first-order random regression mixed model with different residual variance structures, in buffaloes under a performance test

Variance structure	Fixed effects		Random effects					Criteria			
		β_0	β_1	σ_{b_0}	σ_{b_1}	σ_e	$\rho_{b_0b_1}$	AIC	BIC	LRT ¹	
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$	1	34.58 ± 1.02	0.0611 ± 0.0043	5.033	0.0167	1.063	-0.052	629	647		
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n1}^2)$	3	34.82 ± 0.99	0.0584 ± 0.0042	4.914	0.0172	2.291	0.002	639	733	40.05	(0.0288)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n2}^2)$	4	34.66 ± 1.02	0.0602 ± 0.0043	5.035	0.0171	1.155	-0.063	630	657	4.91	(0.1788)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2 * age_{ij} ^{2\delta})$	5	34.57 ± 1.02	0.0613 ± 0.0043	5.004	0.0165	4.796	-0.030	630	652	0.76	(0.3838)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2 * e^{2\delta * age_{ij}})$	6	34.51 ± 1.01	0.0620 ± 0.0042	4.969	0.0159	1.299	0.013	630	651	0.96	(0.3274)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n1}^2 * e^{2\delta * age_{ij}})$	8	34.91 ± 0.99	0.0572 ± 0.0041	4.933	0.0168	1.852	-0.008	640	737	40.98	(0.0312)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n1}^2 * age_{ij} ^{2\delta})$	9	34.90 ± 0.99	0.0572 ± 0.0040	4.936	0.0167	0.001	-0.005	640	737	41.02	(0.0309)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n2}^2 * e^{2\delta * age_{ij}})$	10	34.61 ± 1.02	0.0608 ± 0.0043	4.996	0.0165	1.321	-0.023	632	662	5.42	(0.2464)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n2}^2 * age_{ij} ^{2\delta})$	11	34.66 ± 1.02	0.0602 ± 0.0043	5.024	0.0170	2.268	-0.056	632	662	5.01	(0.2867)

ε_{ij} = residual for the i -th animal of the j -th age; age_{ij} = explanatory variable used in the variance of the residuals (i.e., variance covariate); $n1 = 26$ (number of animals); $n2 = 4$ (number of farms); δ, δ_1 and δ_2 = function coefficients of variance are unknown and must be estimated. β_0 = intercept, corresponding to the initial AOL (cm^2); β_1 and β_2 = regression coefficients associated with the predictor (age), explaining changes during the performance test (cm^2/d). σ_{b_0} : standard deviation of intercept (cm^2); σ_{b_1} : standard deviation of growth rate (cm^2/d); $\rho_{b_0b_1}$: correlation between the intercept and growth rate; σ_e : standard deviation of error (cm^2). AIC = Akaike Information Criterion, BIC = Bayesian Information Criterion; LRT = Likelihood Ratio Test.

¹Test conducted between models with heterogeneous variance structures (3-11) and the model that assumes homogeneity of variance (2). Values in parentheses correspond to the level of significance.

Table 4. Parameters for fat thickness over the hip estimated by a second-order random regression mixed model with different residual variance structures, in buffaloes under a performance test

Variance structure	Fixed effects			Random effects					Criteria		
		β_0	β_1	β_2	σ_{b_0}	σ_{b_1}	σ_e	$\rho_{b_0b_1}$	AIC	BIC	LRT ¹
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$	2	4.48 ± 0.28	-0.0042 ± 0.0045	0.00009 ± 0.00002	1.061	0.0098	0.221	-0.58	196	217	
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n1}^2)$	3	4.33 ± 0.23	-0.00008 ± 0.029	0.00007 ± 0.00001	1.038	0.0092	0.044	-0.54	178	275	68.14 (<0.0001)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n2}^2)$	4	4.42 ± 0.27	-0.0024 ± 0.0042	0.00008 ± 0.00002	1.049	0.0095	0.183	-0.56	191	221	11.58 (0.009)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2 * age_{ij} ^{2\delta})$	5	4.37 ± 0.25	-0.0010 ± 0.0037	0.00007 ± 0.00002	1.009	0.0083	0.007	-0.53	176	200	22.58 (<0.0001)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2 * e^{2\delta * age_{ij}})$	6	4.25 ± 0.24	0.0015 ± 0.0036	0.00006 ± 0.00002	1.005	0.0084	0.080	-0.49	174	199	23.90 (<0.0001)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2 * (\delta_1 + age_{ij} ^{\delta_2})^2)$	7	4.37 ± 0.25	-0.0010 ± 0.0037	0.00007 ± 0.00002	1.009	0.0083	0.007	-0.53	178	205	22.58 (<0.0001)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n1}^2 * e^{2\delta * age_{ij}})$	8	4.41 ± 0.21	-0.0021 ± 0.0025	0.00008 ± 0.00001	0.987	0.0086	0.028	-0.48	167	267	80.96 (<0.0001)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n1}^2 * age_{ij} ^{2\delta})$	9	4.36 ± 0.21	-0.0005 ± 0.0026	0.00007 ± 0.00001	0.981	0.0082	0.000	-0.47	169	259	88.88 (<0.0001)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n2}^2 * e^{2\delta * age_{ij}})$	10	4.19 ± 0.23	0.0035 ± 0.0033	0.00005 ± 0.00002	0.985	0.0079	0.073	-0.45	165	198	39.22 (<0.0001)
$\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{n2}^2 * age_{ij} ^{2\delta})$	11	4.33 ± 0.24	0.0004 ± 0.0034	0.00006 ± 0.00002	1.004	0.0077	0.003	-0.50	174	207	30.31 (<0.0001)

ε_{ij} = residual for the i -th animal of the j -th age; age_{ij} = explanatory variable used in the variance of the residuals (i.e., variance covariate); $n1 = 26$ (number of animals); $n2 = 4$ (number of farms); δ, δ_1 and δ_2 = function coefficients of variance are unknown and must be estimated. β_0 = intercept, corresponding to the initial FOH (mm); β_1 and β_2 = regression coefficients associated with the predictor (age), explaining changes during the performance test (mm/d). σ_{b_0} : standard deviation of intercept (mm); σ_{b_1} : standard deviation of growth rate (mm/d); $\rho_{b_0b_1}$: correlation between the intercept and growth rate; σ_e : standard deviation of error (mm). AIC = Akaike Information Criterion, BIC = Bayesian Information Criterion; LRT = Likelihood Ratio Test.

¹Test conducted between models with heterogeneous variance structures (3-11) and the model that assumes homogeneity of variance (2). Values in parentheses correspond to the level of significance.

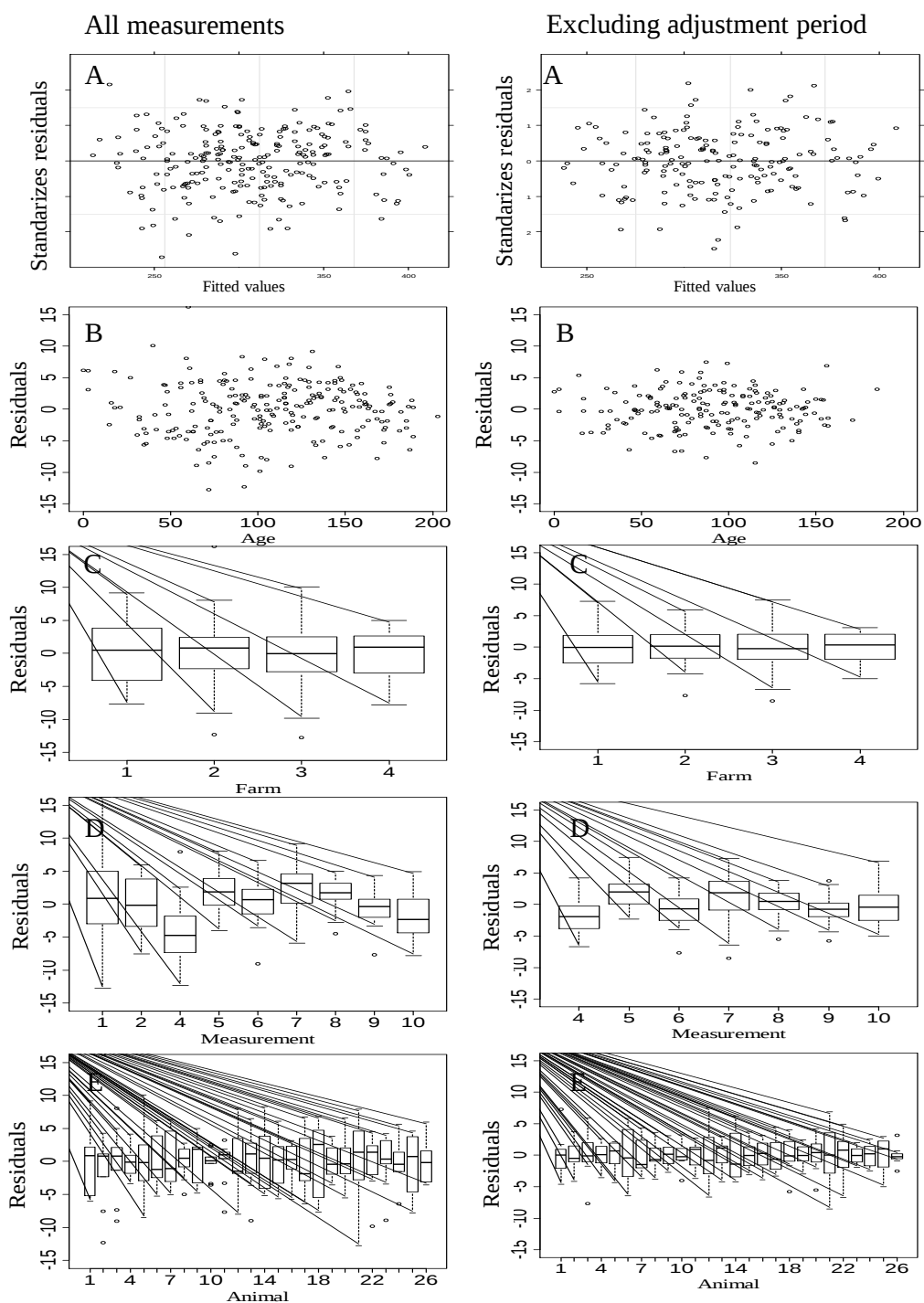


Figure 1. Residuals for body weight (BW) estimated by Model 2, assuming homogeneity of variances, using all measurements (left-hand side), and excluding measurements during the adjustment period (right-hand side). A. Standardized Residuals vs. Predicted Values; B. Residuals vs. Age; C. Residuals vs. Farms; D. Residuals vs. Measurements; E. Residuals vs. Animals.

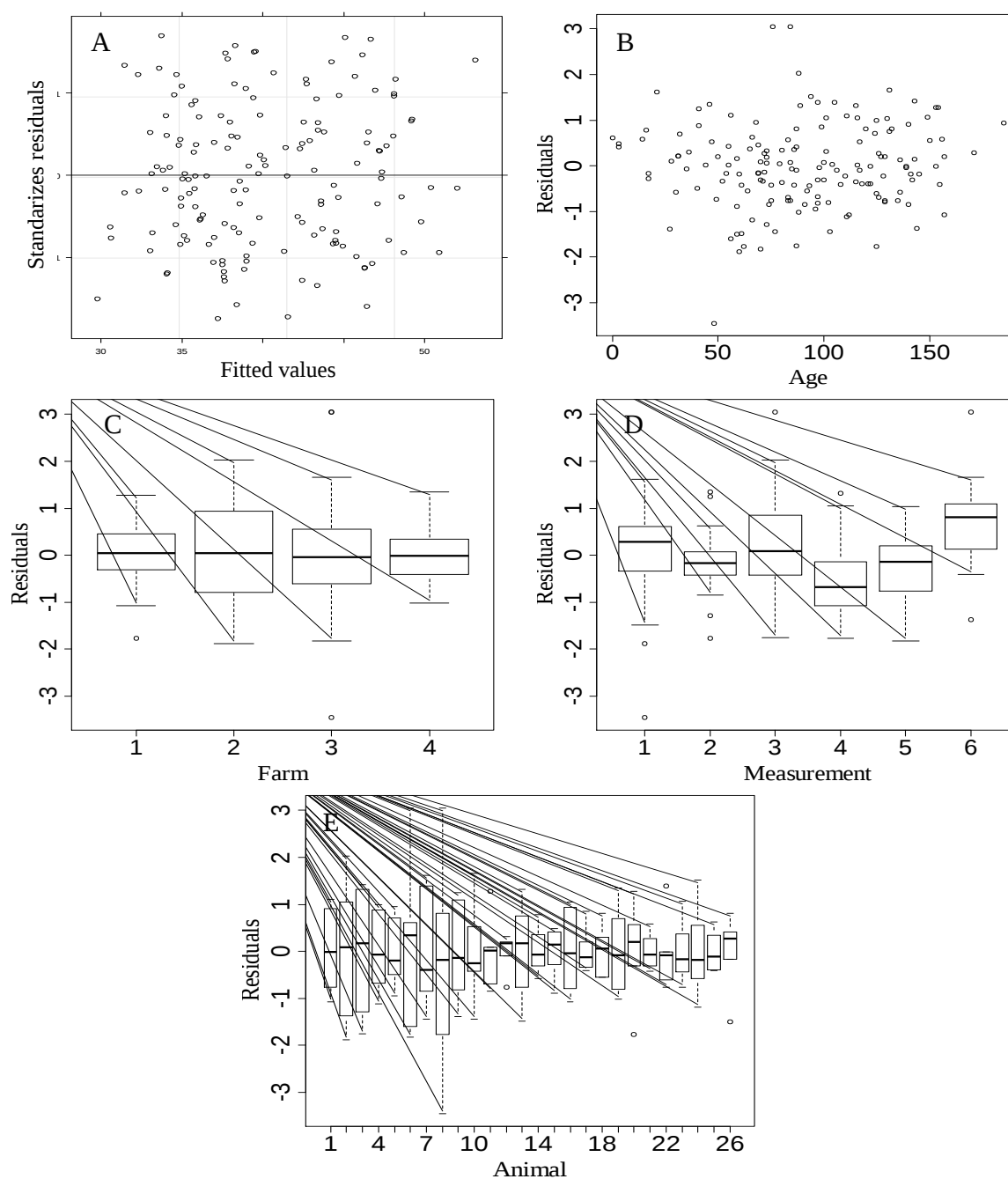


Figure 2. Residuals for area of *longissimus dorsi* muscle area (AOL) estimated by Model 3, with $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_j^2)$ $j = 1, 2, \dots, 26$. A. Standardized residuals vs. predicted values; B. Residuals vs. Age; C. Residuals vs Farms; D. Residuals vs. Measurements; E. Residuals vs. Animals.

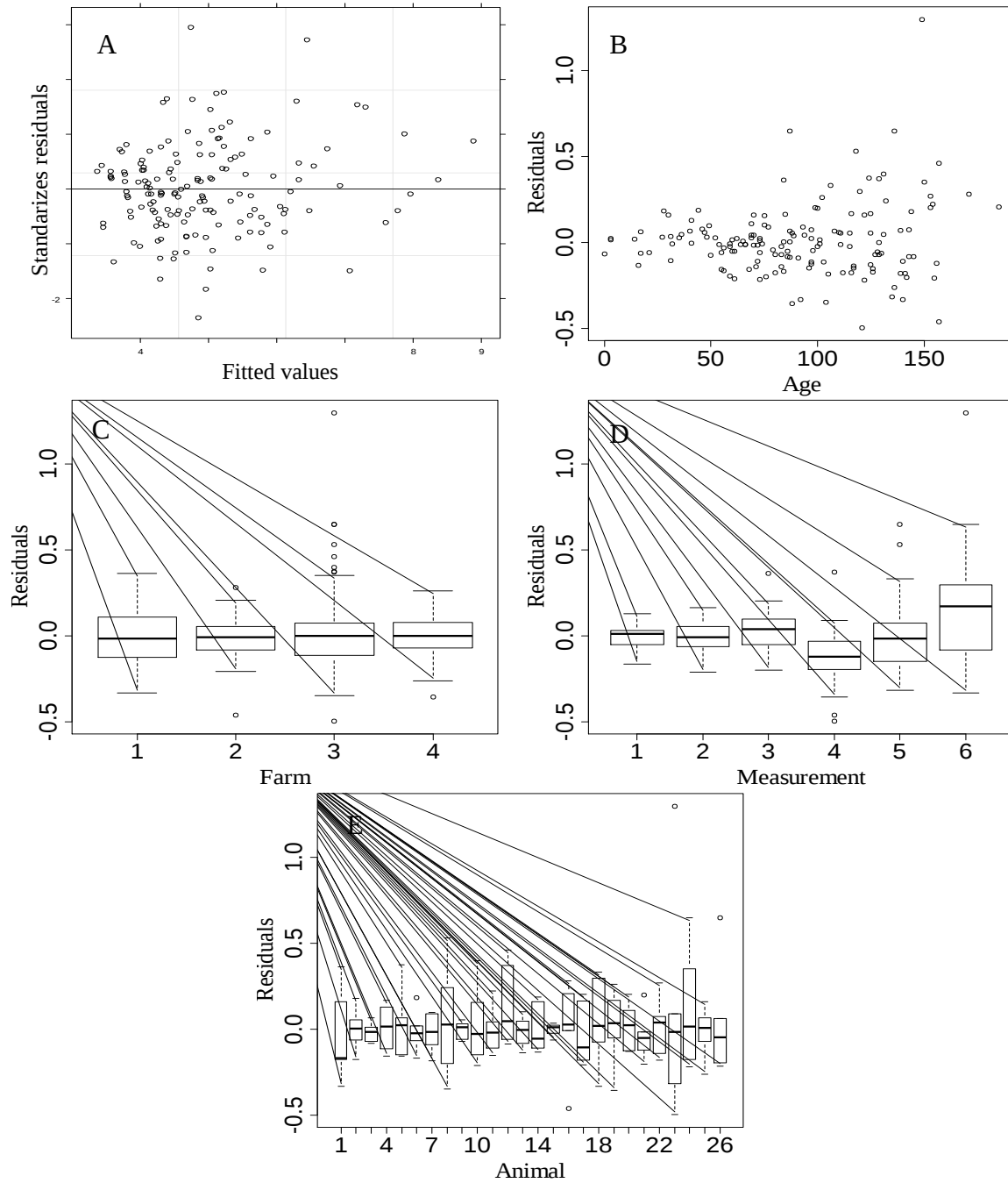


Figure 3. Residuals for fat thickness over the hip (FOH) estimated by model 9, with $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_j^2 * e^{2\delta * age_i})$ $j = 1 \dots 4$. A. Standardized residuals vs. predicted values; B. Residuals vs. Age; C. Residuals vs. Farm; D. Residuals vs. Measurement; E. Residuals vs. Animals.

Este capítulo se escribió bajo las normas de la revista **COLOMBIANA DE CIENCIAS PECUARIAS**. Fue aceptado para su publicación.

CAPÍTULO 4. Parámetros genéticos para características de crecimiento en búfalos (*Bubalus bubalis Artiodactyla, Bovidae*) en Colombia

Genetic parameters for growth traits of buffaloes (*Bubalus bubalis Artiodactyla, Bovidae*) in Colombia

Parâmetros genéticos para características de crescimento em búfalos (*Bubalus bubalis Artiodactyla, Bovidae*) na Colômbia

Diana M Bolívar Vergara^{1,2*}, Zoot, MSc, cPhD; Mario F Cerón-Muñoz^{1,3}, Zoot, MSc, PhD; Edison J Ramírez Toro¹, Zoot, MSc; Divier A Agudelo Gómez^{1,4}, Ind. Pec., MSc, Tatiana Cifuentes⁵, Est. Admon. C. Agrop. U. Santo Tomás

1Grupo de Investigación en Genética, Mejoramiento y Modelación Animal GaMMA, 2Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, A.A. 1779. Medellín, Colombia, 3Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, A.A. 1226, Medellín, Colombia, 4Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias, Corporación Universitaria Lasallista, Caldas, Colombia, 5Asociación Colombiana de Criadores de Búfalos

Resumen

El objetivo de este estudio fue estimar los parámetros genéticos peso al destete (PD), peso a los 12 (P12), 18 (P18) y 24 (P24) meses de edad, en poblaciones bufalinas en el trópico bajo colombiano. Los datos de PD fueron

* Email autor: dmboliva@unal.edu.co dianamariabolivar@gmail.com

analizados en un modelo animal unicaracterístico. El modelo incluyó como efectos fijos sexo, número de parto y grupo contemporáneo (finca, época y año de destete) y edad como covariable. Los efectos aleatorios fueron genético aditivo directo y materno, ambiente permanente materno y error. Un modelo animal multicaracterístico fue utilizado para P12, P18 y P24. El modelo incluyó como efectos fijos sexo y grupo contemporáneo y edad como covariable. Los efectos aleatorios fueron genético aditivo directo y error. Las heredabilidades directa, materna y total para PD fueron 0.45 ± 0.054 , 0.28 ± 0.070 y 0.33 . La correlación genética entre los efectos directo y materno fue -0.48 ± 0.089 , indicando que puede haber antagonismo entre genes para crecimiento y genes para habilidad materna. Las heredabilidades para P12, P18 y P24 meses fueron 0.42 , 0.42 y 0.41 , respectivamente, con correlaciones genéticas altas y positivas entre las tres características. Las heredabilidades estimadas sugieren que la selección por crecimiento pre y posdestete es posible en esta población.

Palabras clave: correlaciones genéticas, efecto materno, ganado de carne, heredabilidad.

Abstract

The aim of this study was to estimate genetic parameters of weaning weight (WW) and weights at 12 (W12), 18 (W18) and 24 (W24) months of age, in buffalo populations of the Colombian tropical lowlands. A single-trait animal model was used for (WW). The model included fixed effects sex, calving and contemporary group (farm, season, and year), and age of calf at weaning as covariate. Direct genetic, maternal genetic, permanent environmental, and residual effects were included as random effects. A multitrait animal model was used for W12, W18 and W24. The model included sex and contemporary group as fixed effects and age as covariate. Direct genetic and residual

effects were included as random effects. Direct, maternal, and total heritabilities for WW were 0.45 ± 0.054 , 0.28 ± 0.070 y 0.33 . The genetic correlation between direct and maternal effects was -0.48 ± 0.089 , indicating that there may be antagonism among genes for growth and genes for maternal ability. Heritabilities for W12, W18 and W24 were fueron 0.42 , 0.42 y 0.41 , respectively, with high and positive genetic correlations among three characteristics. Estimated heritabilities suggest that selection for pre-and post-weaning growth is feasible in this population.

Key words: *genetic correlations, maternal genetic effect, beef cattle, heritability.*

Resumo

O objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos do peso ao desmame (PD), peso ao 12 (P12), 18 (P18) e 24 (P24) meses de idade, do populações de búfalos nos trópicos na Colômbia. Dados do PD foram analisados em um modelo animal unicaracterístico. O modelo incluiu como efeitos fixos sexo, paridade e grupo de contemporâneos (fazenda idade e ano de desmame) ea idade como covariável. Os efeitos aleatórios foram genético aditivo direto, genético aditivo materno, de ambiente permanente materno e residual. Um modelo animal multicaracterístico foi usado para P12, P18 e P24. O modelo incluiu como efeitos fixos sexo e grupo de contemporâneos ea idade como covariável. Os efeitos aleatórios foram genético aditivo direto e residual. As herdabilidades direta, materna e total do PD foram 0.45 ± 0.054 , 0.28 ± 0.070 y 0.33 . A correlação genética entre efeitos direto e materno foi -0.48 ± 0.089 , indicando que pode haver antagonismo entre genes de crecimiento e genes para habilidade materna. As herdabilidades para P12, P18 y P24 foram 0.42 , 0.42 y 0.41 , respectivamente, com correlações genéticas altas e positivas entre os três características. As estimativas de herdabilidade sugerem que seleção para crescimento pré e pós-desmame é possível nesta população.

Palavras chave: *correlações genéticas, efeito materno, gado de corte, herdabilidade.*

Introducción

El conocimiento de los parámetros genéticos es necesario para estimar los valores genéticos, combinar características en índices de selección, predecir la respuesta a la selección y permite la utilización de la variabilidad en la mejora genética. Además proporciona información valiosa para la planificación, ejecución y evaluación de programas de mejoramiento genético con el fin de aumentar la productividad en los sistemas de producción (Silveira, 2004; Tonhati *et al.*, 2000).

El crecimiento es una de las características que debe ser mejorada, dada su importancia económica en los sistemas de producción de carne, ya que se relaciona con características productivas y reproductivas (Blasco, 2004). Se espera que los animales que crecen más rápido, en términos de peso corporal, puedan iniciar el funcionamiento fisiológico de la reproducción y producción de leche más temprano. De acuerdo a los resultados obtenidos por Agudelo *et al.* (2009), es posible alterar la curva de crecimiento del ganado bufalino, ya que en las poblaciones evaluadas se observó variabilidad fenotípica y genética, encontrando heredabilidades de valor medio para características de crecimiento. Dichos autores reportaron una heredabilidad directa y materna para peso al destete de 0.19 y 0.12, respectivamente y de 0.39 para el peso al año. Las heredabilidades para peso adulto, índice de precocidad, madurez al año de edad, edad al 50% y 75% de madurez (coeficientes obtenidos por el modelo de Brody) fueron 0.10, 0.10, 0.15, 0.09 y 0.20, respectivamente.

Para mejorar genéticamente la población de búfalos en Colombia, es necesario realizar evaluaciones genéticas para características de importancia económica. La colecta de información sobre los componentes genéticos para características de

crecimiento, contribuirá con el desarrollo de programas de mejoramiento genético que beneficiará a los productores de búfalos en Colombia. El objetivo de este estudio fue estimar los parámetros genéticos para peso al destete, a los 12, 18 y 24 meses de edad, en poblaciones bufalinas en el trópico bajo colombiano.

Materiales y Métodos

Para el estudio se utilizaron los datos productivos y genealógicos colectados en siete haciendas localizadas en los municipios de Ayapel y Montelíbano (departamento de Córdoba), Barrancabermeja (departamento de Santander), Norcasia (departamento de Caldas), Montería (departamento de Córdoba) y Pelaya (departamento de Cesar). Estas ganaderías se encuentran en dos zonas de vida, bosque húmedo tropical (altura sobre el nivel del mar: 80 m; temperatura: de 28 °C; precipitación: 2000 mm/año) y bosque seco tropical (altura sobre el nivel del mar: 90-190 m, temperatura 29 °C; precipitación: 1800 mm/año).

Para obtener las estimativas de componentes de (co)varianzas y parámetros genéticos, se empleó la metodología de máxima verosimilitud restringida libre de derivada, por medio de modelo animal unicaracterístico (peso al destete) y multicaracterístico (peso a los 12, 18 y 24 meses). Se utilizó el programa Multi Trait Derivative Free Restricted Máximum Likelihood (MTDFREML), desarrollado por Boldman *et al.* (1995).

Para peso al destete (PD) se utilizaron registros de campo desde 1997 hasta 2009, con un total de 9244 datos. Para peso a los 12 meses (P12) registros entre los años 1996 y 2009, con un total de 6975 datos. Para peso a los 18 (P18) y 24 (P24) meses se analizaron registros desde 1987 hasta 2010, con 1843 y 1476 datos, respectivamente. La matriz de relaciones incluyó 27749 individuos.

Para PD se incluyeron como efectos fijos sexo variando desde 1 (machos) hasta 2 (hembras), número de parto (desde 1 hasta 9) y grupo contemporáneo, el cual estuvo constituido por finca (desde 1 hasta 7), época de destete (1= agosto-noviembre; 2=diciembre-marzo y 3= abril-julio) y año de destete variando desde

1997 hasta 2009. La edad del búfalo al destete fue utilizada como covariable. Los efectos aleatorios fueron genético aditivo directo y materno, ambiente permanente materno y error. Para el análisis se consideró el valor de la co-varianza entre el efecto genético aditivo directo y materno diferente de cero. En términos matriciales el modelo animal utilizado fue el siguiente:

$$y = X\beta + Z_1a + Z_2m + Z_3p + e; \text{ con Cov } (Z_1a, Z_2m) \neq 0$$

Donde: y = vector de observaciones para la característica PD; X = matriz de incidencia de los efectos fijos; β = vector de efectos fijos (sexo, número de parto y grupo contemporáneo); Z_1 = matriz de incidencia del efecto genético aditivo directo de cada animal; a = vector de efectos aleatorios genéticos aditivos directos; Z_2 = matriz de incidencia del efecto genético aditivo materno de cada animal; m = vector de efectos aleatorios genéticos aditivos maternos; Z_3 = matriz de incidencia del efecto de ambiente permanente de la madre; p = vector de efectos aleatorios de ambiente permanente de la madre; e = vector de efectos aleatorios residuales.

La heredabilidad total para PD fue estimada de acuerdo a la ecuación propuesta por Willham (1963):

$$h_t^2 = h_a^2 + \frac{1}{2} h_m^2 + \frac{3}{2} r_{am} \sqrt{h_a^2} \sqrt{h_m^2}$$

Donde h_t^2 = heredabilidad total; h_a^2 = heredabilidad directa; h_m^2 = heredabilidad materna y r_{am} = correlación directa-materna.

Para P12, P18 y P24 se incluyeron como efectos fijos el sexo y el grupo contemporáneo, el cual estuvo constituido por finca, época y año en el que se realizó cada pesaje y la edad se incluyó como covariable. Los efectos aleatorios fueron genético aditivo directo y error. En términos matriciales el modelo animal utilizado fue el siguiente:

$$y_i = X_i b_i + Z_1 a_i + e_i$$

Donde: y_i = vector de observaciones para la i característica (P12, P18 y P24); X_i = matriz de incidencia relacionada a los efectos fijos b_i ; b_i = vector de efectos fijos

para cada característica (sexo y grupo contemporáneo); Z_1 = matriz de incidencia relacionada a los efectos aleatorios genéticos aditivos a_i de cada animal para las características i ; a_i = vector de efectos aleatorios genéticos aditivos directos de los animales; e_i = vector de efectos residuales aleatorios de las características i .

Resultados

El número de registros, la media fenotípica, desviación estándar y coeficiente de variación, para cada una de las características analizadas se presentan en la tabla 1. El promedio para PD fue 182 ± 42.46 kg a una edad promedio de 270 ± 19 días, con una ganancia diaria de peso predetete de 0.391 kg. El peso promedio a los 12, 18 y 24 meses fue de 201.8 ± 38.70 , 278 ± 50.89 kg y 363.4 ± 54.32 , con una edad promedio de 348 ± 23 días, 530 ± 25 días y 729 ± 27 días, respectivamente.

Tabla 1. Análisis descriptivo para las características peso al destete, peso a los 12, 18 y 24 meses de búfalos en el trópico bajo colombiano

Peso	N° de registros	N° de padres	N° de madres	Media (kg)	CV
Destete	9244	451	5167	182 ± 42.46	23.30
12 meses	6975	382	3956	201.8 ± 38.70	19.18
18 meses	1843	221	1459	278 ± 50.89	18.31
24 meses	1476	295	1310	363.4 ± 54.32	14.95

CV= coeficiente de variación

Las heredabilidades directa, materna y total para PD fueron 0.45 ± 0.054 , 0.28 ± 0.070 y 0.33, respectivamente. La correlación genética entre los efectos directo y materno fue -0.48 ± 0.089 (Tabla 2). Las heredabilidades para peso a los 12, 18 y 24 meses fueron 0.42, 0.42 y 0.41, respectivamente (Tabla 2), con correlaciones altas y positivas entre las tres características (Tabla 3). Debido a que no fue posible estimar los errores estándar en el modelo multicaracterístico, estos fueron

estimados en modelos unicaracterísticos, encontrándose unas heredabilidades de 0.43 ± 0.040 , 0.35 ± 0.101 y 0.30 ± 0.102 para P12, P28 y P24, respectivamente.

Discusión

El PD para la población de búfalos bajo estudio, fue inferior al reportado en diferentes trabajos realizados en Brasil, Argentina y Colombia. Lourenço *et al.* (2010), reportó un peso promedio de 265 y 273 kg con una edad entre 213 y 303 días, para búfalos participantes de pruebas de ganancia de peso realizadas por Embrapa en Brasil. En hatos bufaleros de Argentina (Zaba y Clevañer, 2001) y Venezuela (Rodas *et al.*, 2001), se reportaron PD de 201 ± 15 kg y de 235 ± 22 kg. En Colombia, Angulo *et al.* (2006) y Agudelo *et al.* (2009), reportaron para tres sistemas de producción de cría sin ordeño, en el Magdalena Medio un PD de 258 ± 33 kg y 241.16 kg, respectivamente.

Tabla 2. Componentes de varianza estimados (kg^2) y heredabilidades para características de crecimiento en búfalos en el trópico bajo colombiano

Estimación	PD	P12	P18	P24
σ_a^2	330.66	368.56	562.82	618.03
σ_m^2	205.33	-	-	-
σ_{am}	-124.34	-	-	-
σ_{pe}^2	0.014	-	-	-
σ_f^2	734.98	875	1334.40	1520.49
σ_e^2	323.30	506.44	771.59	902.45
h_a^2	0.45 ± 0.054	0.42	0.42	0.41
h_m^2	0.28 ± 0.070	-	-	-
h_t^2	0.33	0.42	0.42	0.41
$r_{a,m}$	-0.48 ± 0.089	-	-	-
c^2	0.0000187	-	-	-
e^2	0.44	0.58	0.58	0.59

σ_a^2 =varianza genética directa; σ_m^2 =varianza genética aditiva materna; σ_{am} = covarianza entre genética aditiva directa y materna; σ_{pe}^2 =varianza de ambiente permanente; σ_e^2 =varianza residual; σ_f^2 = varianza fenotípica; h_a^2 =heredabilidad directa; h_m^2 =heredabilidad materna; h_t^2 = heredabilidad total; $r_{a,m}$ =correlación genética aditiva directa y materna; c^2 : contribución del ambiente permanente para la varianza fenotípica; e^2 : fracción del error residual; PD= peso al destete; P12= peso a los 12 meses de edad; P18= peso a los 18 meses de edad; P24= peso a los 24 meses de edad

Tabla 3. Correlaciones genéticas (debajo de la diagonal) y fenotípicas (encima de la diagonal) entre peso a los 12, 18 y 24 meses de búfalos en el trópico bajo colombiano

Característica	P12	P18	P24
P12	-	0.81	0.56
P18	0.85	-	0.80
P24	0.54	0.91	-

El peso a los 12 meses de edad fue superior al reportado por Ramírez *et al.* (en prensa), en machos castrados en una zona de bosque húmedo tropical en Colombia (183.69 kg). Un mayor peso fue encontrado por Agudelo *et al.* (2009), para tres sistemas de producción de cría sin ordeño, con pastoreo de *Brachiarias* sp, localizados en el Magdalena Medio Colombiano (277.02 kg). Los pesos encontrados en los tres trabajos realizados en Colombia, fueron inferiores a los encontrados en Brasil, bajo condiciones de pastoreo donde reportaron pesos entre 301 y 351 kg (Malhado *et al.*, 2008; Jorge *et al.*, 2005a).

El peso a los 18 meses fue inferior al reportado en diferentes trabajos realizados en Argentina y Brasil. Crudeli *et al.* (2007) en búfalos mediterráneos en Argentina, encontraron un peso promedio de 335.9 kg; en Brasil, Jorge *et al.* (2005b) para búfalos de las razas Murrah, Jafarabadi y Mediterráneo un peso de 330 ± 13 kg y por Jorge *et al.* (2005a), en búfalos de la raza Murrah criados en pastoreo y manejados en un sistema doble propósito un peso de $326.13 \pm 39,27$ kg. Igualmente, Malhado *et al.* (2008) reportaron un peso de 317.17 kg para búfalos Murrah criados a pasto con alimentación suplementaria en la época de la sequía y pertenecientes al Programa de Mejora Genética de Bufalinos Promebul.

Según los resultados encontrados, se puede afirmar que los pesos a todas las edades evaluadas fueron inferiores a los reportados en otros trabajos. Los mayores pesos reportados pueden ser explicados por las condiciones de manejo, dieta suministrada (especie forrajera y suplemento) y las razas utilizadas en estos trabajos. Uno de los aspectos que más incide es el manejo del amamantamiento

de las crías. En Colombia el búfalo es manejado bajo dos sistemas de producción: cría sin ordeño, cuyo objetivo es producir búfalos con altos pesos al destete, alcanzando a una edad temprana el peso para el sacrificio y doble propósito, cuyo objetivo principal es la producción de leche, obteniéndose bucerros con bajos pesos al destete, alcanzando el peso al sacrificio a una edad más tardía. Las diferencias de peso entre los dos sistemas son altas. En este estudio, de las siete bufaleras tenidas en cuenta, cinco son de doble propósito, lo cual puede explicar en gran parte los resultados obtenidos. Los bajos pesos encontrados evidencian un problema en los sistemas de producción de Colombia. Los pesos pueden ser mejorados seleccionando los individuos genéticamente superiores para peso a diferentes edades y mejorando el manejo de los animales, tanto en la fase predestete (especialmente el ordeño), como posdestete. Así se puede obtener una mayor productividad en los sistemas ganaderos del país.

Los valores de heredabilidad directa y materna para PD encontrados en este estudio, fueron superiores a los reportados por Agudelo *et al.* (2009) en búfalos en el Magdalena Medio Colombiano (0.19 ± 0.10 y 0.12 ± 0.14) y por Thiruvenskadan *et al.* (2009), para peso a los nueve meses en búfalos Murrah en la India (0.18 ± 0.08 y 0.05 ± 0.01). Mendes *et al.* (2007) en búfalos en Brasil, estimaron una heredabilidad directa igual (0.45 ± 0.06) y una heredabilidad materna más baja (0.09 ± 0.04).

La heredabilidad directa para PD fue mayor que la heredabilidad materna, sugiriendo que el efecto genético directo es más importante para determinar el PD comparado con el efecto genético materno (Rosales *et al.*, 2004). Esto significa que la capacidad propia de los bucerros para crecer tuvo mayor influencia sobre sus pesos al destete que la habilidad materna de sus madres. Teniendo en cuenta que la habilidad materna se debe principalmente a la producción de leche, estos resultados sugieren, en el caso de los sistemas de cría sin ordeño, que la cantidad de leche que las búfalas proveen a sus crías fue insuficiente para satisfacer los requerimientos para crecimiento. Para los sistemas doble propósito, se podría

afirmar que con el sistema de ordeño aplicado, no se está suministrando suficiente leche a las crías, afectando el crecimiento de estas. La baja producción de leche en las búfalas de esta población puede ser debida a una baja capacidad genética o a las condiciones ambientales a que son sometidas las hembras, especialmente la dieta suministrada que probablemente no es la adecuada para expresar su potencial genético en términos de producción de leche.

Aunque la heredabilidad directa para PD fue mayor, no se puede desconocer la importancia que tiene el efecto genético materno en las poblaciones bufalinas bajo condiciones del trópico bajo colombiano. Angulo *et al.* (2006) en tres hatos bufalinos localizados en la región del Magdalena Medio Colombiano estimaron una heredabilidad directa para PD de 0.1 y una heredabilidad materna de 0.26, lo cual sugiere que el PD depende más del efecto materno que del efecto genético directo. Esta dependencia de la habilidad materna puede ser explicada por el sistema de producción, ya que el crecimiento de la cría depende de la producción de leche y duración de la lactancia de la madre, ya que en los tres hatos evaluados por Angulo *et al.* (2006) la cría se manejó a toda leche (sin ordeño) (Ferraz *et al.*, 2004; Plasse *et al.*, 2002).

La correlación genética negativa entre los efectos genético aditivo directo y materno, sugiere la existencia de un antagonismo genético entre estos, lo cual ha sido reportado por diferentes autores (Mercadante *et al.*, 1997; Quintero *et al.*, 2007). Sin embargo, la correlación fue media siendo posible seleccionar machos y hembras con valores genéticos positivos para los efectos directo y materno, en esta población. Hacer selección teniendo en cuenta el efecto genético directo podría empeorar la habilidad materna, lo que dificulta llevar a cabo la selección para esta característica (Ferraz *et al.*, 2002), siendo importante tener en cuenta ambos efectos para obtener un mayor progreso genético basado en la selección (Bittencourt *et al.*, 2002; Cabrera *et al.*, 2001; Pimenta *et al.*, 2001). Una

correlación diferente fue reportada por Agudelo *et al.* (2009) en hatos bufalinos localizados en la región del Magdalena Medio Colombiano (0.37 ± 0.94), pero su alto error estándar indica un problema de la estimación.

La heredabilidad total encontrada fue igual a la reportada por Bath (1979), en búfalos bajo condiciones de pastura en la India (0.33), mientras que Schammas *et al.* (1996) encontró una heredabilidad total inferior (0.23) en búfalos de la raza Mediterránea en Brasil.

La heredabilidad total estimada para PD fue inferior a la reportada en pesos posteriores, lo que puede ser explicado por el efecto materno. Aunque la heredabilidad total fue más alta (0.45), la heredabilidad materna estimada (0.28) junto con la correlación negativa entre el efecto genético directo y materno (-0.48), explica los resultados, además de un mayor efecto del ambiente en esta etapa de desarrollo. Esto coincide con lo reportado por Thiruvankadan *et al.* (2009), quienes estimaron la heredabilidad para peso al nacimiento y a los tres, seis, nueve y doce meses en búfalos Murrah en la India. Ellos encontraron un aumento de la heredabilidad en etapas de desarrollo más tardías, indicando que el ambiente tuvo más efecto en etapas de desarrollo iniciales.

Las heredabilidades similares para peso a los 12, 18 y 24 meses, indican que los factores ambientales tienen la misma influencia sobre pesos posteriores al destete y sugieren que las condiciones ambientales a las que son sometidos los animales en la fase posdestete, permiten una expresión moderada del potencial genético para crecimiento y que la selección por estas características puede ser efectiva en esta población. Agudelo *et al.* (2009), reportaron una heredabilidad similar a los 12 meses (0.39), mientras que Thiruvankadan *et al.* (2009), estimaron una menor heredabilidad (0.20 ± 0.06) en búfalos Murrah en la India. Heredabilidades superiores fueron reportadas por Mendes *et al.* (2007) en búfalos pertenecientes al programa de mejoramiento genético PROMEBUL en Brasil, quienes estimaron

heredabilidades de 0.46 ± 0.04 y 0.58 ± 0.10 para peso a los 365 y 550 días, respectivamente.

Las altas heredabilidades estimadas para los pesos a diferentes edades, sugieren que una alta proporción de la variación observada en estas características es debida a efectos genéticos aditivos y maternos, en el caso del peso al destete. Esto también indica una alta correlación entre el genotipo y el fenotipo individual de los búfalos, por lo tanto la selección de los mejores animales a partir de pruebas de desempeño, sumada a pruebas de progenie, es una buena alternativa para mejorar estas características. Los parámetros genéticos estimados indican que el peso a los 12 meses puede ser utilizado como una herramienta de selección para el mejoramiento genético de las características de crecimiento posdestete teniendo en cuenta su alta heredabilidad y correlaciones genéticas positivas con características de crecimiento posteriores.

Los parámetros genéticos encontrados en este trabajo para PD sugieren que la selección por esta característica es factible en esta población, siendo importante tener en cuenta, tanto el efecto genético directo, como el materno, para obtener un mayor progreso genético. Así mismo, la alta heredabilidad estimada para peso a los 12 meses de edad y las correlaciones altas y positivas con el peso a edades posteriores, sugieren la utilización de esta característica como criterio de selección para el mejoramiento genético de características de crecimiento posdestete, obteniendo así búfalos más eficientes bajos las condiciones de producción en el trópico bajo colombiano.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) por la financiación del proyecto “Evaluaciones genéticas para búfalos colombianos tipo carne” el cual hace parte del programa “Mejoramiento genético en búfalos

colombianos tipo carne” y a la Fundación Universitaria San Martín por su apoyo a la formación de estudiantes de posgrado. Igualmente agradecen a las empresas ganaderas, por facilitar la base de datos para la realización de este trabajo.

Bibliografía

Agudelo GD, Hurtado LA, Cerón-Muñoz MF. Growth Curves and Genetic Parameters in Colombian Buffaloes (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae). *Rev Colomb Cienc Pecu* 2009; 22:178-188.

Angulo R, Agudelo-Gómez D, Cerón-Muñoz MF, Jaramillo-Botero S. Genetic parameters in buffalo calves fed at full milk in beef production system in middle Magdalena region of Colombia. *Liv Res Rur Dev* 2006; 18: article 180.

Bhat PN. Genetics parameters of milk production and scope of increasin milk production in buffalos vis-a-vis cattle. *Animal Production and Health* 1979; 13: 129-142.

Bittencourt TCC, Rocha JCMC, Lôbo RB, Bezerra LF. Estimacão de componentes de (co)variâncias e predição de DEP's para características de crescimento pós-desmama de bovinos de raça nelore, usando diferentes modelos estatísticos. *Arq Bras Med Vet Zootec* 2002; 54:303-308.

Blasco A. It lacks the name of the work. In: *Proc. XIV international Course on animal genetic improvement*. Universidad Politécnica de Valencia, Spain; 2004.

Boldman KG, Kriese LA, Van Vleck LD, Van Tassel CP, Kachman SDA. Manual for use of MTDFREML. A set of programs to obtain estimates of variances and covariances (DRAFT). U.S. Departament of Agriculture, Agriculture Research Service, Lincoln, NE; 1995.

Cabrera ME, Garnero A del V, Lôbo RB, Gunski RJ. Efecto de la incorporación de la covarianza genética directa-materna en el análisis de características de crecimiento en la raza nelore. *Liv Res Rur Dev* 2001; 13: article 22. (3).

Crudeli G, Pochon D, Olazarri M, Monzón N, Chaparro L, Flores S, Patiño E, Cedrés J. Morphometric evaluation of male Mediterranean buffaloes in Northern Corrientes, Argentina. *Ital J Anim Sci* 2007; 6 (Suppl. 2): 1281-1283.

Ferraz PB, Ramos AA, Campos LO, Souza JC, Mello M, Mendes CH. Tendência genética dos efeitos direto e materno sobre os pesos a desmama e pos-desmama de bovinos da raça Tabapua no Brasil. *R Bras Zootec* 2002; 31:635-640.

Ferraz PB, Ramos AA, Silva LO, Sousa JC, Alencar MM. Alternative animal models to estimate heritabilities and genetic correlations between direct and maternal effects of pre and post-weaning weights of Tabapua cattle. *Arch Latinoam Prod Anim* 2004; 12 (3): 119-125.

Jorge AM, Andrighetto C, Castro VS. Desenvolvimento ponderal de bubalinos da raça Murrah criados em pastagem de *Brachiaria brizantha* no Centro-Oeste do Estado de São Paulo, Brasil. *Cienc Rural* 2005a; 35(2): 417-421.

Jorge AM, Andrighetto C, Millen, DD, Calixto, MG, Vargas, ADF. Características Quantitativas da Carcaça de Bubalinos de Três Grupos Genéticos Terminados em Confinamento e Abatidos em Diferentes Estádios de Maturidade *R Bras Zootec* 2005b; 34 Suppl 6: 2376-2381.

Lourenço JJ, da Costa NM, Araújo CV, Dutra S, Rossetto GA, Nahúm BdeS, Silveira de MJC, Brandão LdeM. Sistema silvipastoril na produção sustentável de búfalos para carne na pequena propriedade da Amazônia oriental. *Bioclimatologia Animal*, Quinta-Feira. 2010; [Enero 5, 2011] URL: <http://www.bioclimatologia.ufc.br/lorenco.pdf>.

Malhado MC, Ramos AA, Carneiro SP, Azevedo RM, Filho MR, Souza JC. Melhoramento e estrutura populacional em bubalinos da raça Mediterrâneo no Brasil. *Pesqui Agropecu Bras* 2008; 43: 215-220.

Mendes Malhado CH, Ramos AA, Souza Carneiro PL, de Souza JC, Lamberson WR. Genetic and phenotypic trends for growth traits of buffaloes in Brazil. *Ital J Anim Sci* 2007; 6 Suppl. 2: 325-327

Mercadante MEZ, Lôbo RB. Estimativas de (Co) variâncias e parâmetros genéticos dos efeitos direto e materno de características de crescimento de fêmeas de um rebanho nelore. *R Bras Zootec* 1997; 26:1124-1133.

Pimenta ECF, Martins GA, Sarmento JLR, Ribeiro MN, Filho RM. Estimativas de heredabilidade de efeitos direto e materno de características de crescimento de bovinos guzerá, no estado da paraíba. *R Bras Zootec* 2001; 30: 1220-1223.

Plasse D, Verde O, Arango J, Camaripano L, Fossi H, Romero R, Rodriguez C, Rumbos J. (Co) variance components, genetic parameters and annual trends for calf weights in Brahman herd kept on floodable savanna. *Genet Mol Res* 2002; 1 (4): 282-297.

Quintero JC, Triana JG, Quijano JH, Arboleda E. Influencia de la inclusión del efecto materno en la estimación de parámetros genéticos del peso al destete en un hato de ganado de carne. *Rev Colomb Cienc Pecu* 2007; 20: 117-123.

Ramírez EJ, Mesa JA, Agudelo DA, Bolívar DM, Cerón-Muñoz MF. Using mixed models to describe growth in buffaloes. *Liv Res Rur Dev*. En prensa.

Rodas A, Huerta N, Vidal A, Rodríguez R, Colina O. Rendimiento carníco de búfalos vs. Vacunos acebuados producidos a sabanas y sacrificados serialmente a cuatro edades contemporáneas. 2001. In Proc. I SAW World Buffalo Congress, Maracaibo, Venezuela. 65 p.

Rosales J, Elzo MA, Montano M, Vega V y Reyes A. Parámetros genéticos para pesos al nacimiento y destete en ganado Simmental - Brahman en el subtrópico mexicano. *Téc Pecu Méx* 2004; 42:333–346.

Schammas EA, Kawatoko M, Barbosa C, Camargo DFV, Mattos JCA, Macedo MP. Desenvolvimento ponderal de bubalinos da raça Mediterrâneo. Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia. Fortaleza. Anais. Sociedade Brasileira de Zootecnia 1996; 33: 218-220.

Silveira JC, McManus C, dos Santos AM, da Silva LOC, da Silveira AC, Soares JAG, Louvandini H. Fatores ambientais e parâmetros genéticos para características produtivas e reprodutivas em um rebanho Nelore no estado do Mato Grosso do Sul. *R Bras Zootec* 2004; 33: 1432-1444.

Thiruvankadan AK, Panneerselvam S, Rajendran R. Non-genetic and genetic factors influencing growth performance in Murrah Buffalos. *S Afri J Anim Sci* 2009; 39 Suppl 1: 102-106 p.

Tonhati H, Vasconcellos FB, Albuquerque LG. Genetic aspects of productive and reproductive traits in a Murrah buffalo herd in Sao Paulo, Brazil. *J Anim Breed Genet* 2000; 117: 331–336.

Willham RL. The covariance between relatives for characters composed of components contributed by related individuals. *Biometrics* 1963; 19:18–27.

Zaba M, Clevañer F. Breeding of buffalos in Argentina. In: Proc. Proceeding 6th World Buffalo Congress, Maracaibo, Venezuela. 2001. 705 p.

Este capítulo se escribió bajo las normas de la revista **JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE**. Está en proceso de evaluación.

CAPÍTULO 5. Covariance functions and genetic parameters for body weight in buffaloes (*Bubalus bubalis*) in Colombia using random regression models¹

D. M. Bolívar^{2†*}, M. F. Cerón-Muñoz^{‡*}, A. A. Boligon[§], M.A. Elzo[#], A. C. Herrera^{‡*}

† Faculty of Agricultural Sciences, National University of Colombia, Calle 59A No 63-20, Medellin, Antioquia, Colombia; ‡ Faculty of Agricultural Sciences, University of Antioquia, Carrera 75 N ° 65-87, Medellín, Antioquia, Colombia; § Faculty of Agriculture and Veterinary Science, University Estadual Paulista, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brazil; # Department of Animal Science, University of Florida, Gainesville, FL 32611-0910, USA; *Genetics, Animal Breeding and Modeling Research Group -GaMMa, University of Antioquia, Colombia.

¹ The authors thank the Colombian Ministry of Agriculture and Rural Development (MARD) for financing the project "Genetic evaluations for Colombian meat-type buffaloes" (code 2008H74473219), which is part of the "Genetic improvement of meat type Colombian buffaloes" program. We also thank the Fundación Universitaria San Martín for supporting the training of graduate students, and the cattle companies for facilitating the databases required to conduct this study.

² Corresponding author: Diana María Bolívar Vergara, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Calle 59A No 63-20, Medellín, Antioquia, Colombia; Tel: 57 4- 430 90 25; Fax: 57 4- 430 90 25; Email: dmboliva@unal.edu.co
dianamariabolivar@gmail.com

ABSTRACT

The objective of this research was to estimate (co) variance functions and genetic parameters for body weight in Colombian buffalo populations, using random regression models with Legendre polynomials. Data consisted of 34,738 weight records from birth to 900 days of age from 7,815 buffaloes. Fixed effects in the model were contemporary group and farrowing order of the mother. Age of the animal at weighing was used as a covariate. Random effects were direct and maternal additive genetic, as well as animal and maternal permanent environmental effects. A cubic orthogonal Legendre polynomial was used to model the mean curve of the population. Eleven models with first to sixth order polynomials were used to describe additive genetic direct and maternal effects, and animal and maternal permanent environmental effects. The residual was modeled considering five variance classes. Models were compared using the Akaike and Bayesian information criteria. The best model included fourth and sixth order polynomials for direct additive genetic and animal permanent environmental effects, respectively, and third-order polynomials for maternal genetic and maternal permanent environmental effects. Both direct additive genetic and animal permanent environmental variances increased with age. Maternal genetic and maternal permanent environmental variances increased from birth until about one year of age, decreasing at later ages. The direct heritability increased from birth (0.05) until 120 days of age (0.32), decreasing thereafter until one year of age (0.18) and increased again, reaching 0.39, at the end of the evaluated period. The highest maternal heritability estimates were obtained for weights around weaning age. Direct genetic correlations ranged from moderate (0.60) to high (0.99), maternal genetic correlations showed a similar range (0.41 and 0.99), and all of them decreased as time between

weighings increased. These results suggested that selecting buffalos for heavier weights at any given age would increase weights from birth through 900 days of age.

Keywords: buffalo, longitudinal data, genetic parameters, random regression.

INTRODUCTION

The buffalo (*Bubalus bubalis*) population has been steadily increasing in Colombia, with an almost 10% annual growth. The current buffalo population in Colombia is approximately 300,000 animals (Torres, 2009). This increase in population size reflects recognition of their milk quality (high in fat, protein and total solids) and ability to achieve high weights at an early age (slaughter weight of 450 kg at 22 months of age; Torres, 2009). In recent years, the Colombian Association of Buffalo Breeders (ACB) in association with several universities have been consolidating milk and meat production and pedigree records with the aim of establishing a genetic improvement program for Colombian buffaloes. Animal weight is among the traits of interest for genetic improvement. Random regression models are frequently used as an alternative to conventional multi-trait analysis to estimate the variance components and genetic parameters of beef cattle weights obtained at different ages (Albuquerque and Meyer, 2001; Nobre et al., 2003; Sakaguti et al., 2003, Dias et al., 2006; Boligon et al., 2010). These models have some advantages over multi-trait models such as the inclusion of records that would normally be discarded (Meyer, 2004), the description of a continuous covariance structure over time, and the estimation of breeding values for weight at any age within the time interval considered (Albuquerque and Meyer, 2001; Tier and Meyer, 2004). In

addition, random regression models allow higher accuracy of predictions due to elimination of data adjustments and the ability to work with all the available weighings and the appropriate covariances (Sousa Jr. et al., 2010). Although random regression models have been widely used to estimate genetic parameters for growth traits in beef cattle, there are currently no available studies in buffaloes. Thus, the objective of this study was to estimate the covariance functions and genetic parameters for weights from birth to 900 days of age in a buffalo population in Colombia, using random regression models.

MATERIALS AND METHODS

Production and genealogy records from seven buffalo herds were used. The herds were established in two life zones: tropical moist forest (altitude: 80 m above sea level; temperature: 28 °C; precipitation: 2000 mm / year, located in three municipalities of two Colombian provinces: Ayapel and Montelibano in Córdoba, and Barrancabermeja in Santander province), and tropical dry forest (altitude: 90 -190 m, temperature 29 °C, precipitation: 1800 mm / year; in three municipalities of three provinces: Norcasia in Caldas, Monteria in Córdoba, and Pelaya in Cesar province).

A total of 34,738 weight records from birth to 900 days of age were analyzed. Records corresponded to 7,815 buffaloes born between 1997 and 2009, resulting from 297 sires and 2,552 cows. Only animals with birth weights greater than 20 kg and up to 40 kg, a minimum of three weights at different ages, and from contemporary groups with a minimum of 4 animals were considered in the analysis. An average of 4.44 records was obtained per animal. Contemporary groups (n = 2,541) were defined groups of animals

from the same farm, of the same sex, born in the same month and year, and weighed during the same month and year. The relationship matrix included 28,890 animals.

To improve the animal distribution by age, classes were created using the following intervals: one-day intervals from birth to 530 days of age, two-day intervals from 531 to 650 days, three-day intervals from 651 to 749 days, and five-day intervals from 750 to 900 days. The total number of age classes was 642.

The models included direct additive genetic, maternal, animal and maternal permanent environmental as random effects. Contemporary groups and farrowing order of the dam were considered as fixed effects and animal age at weighing as covariate. The mean curve of the population was modeled using an orthogonal Legendre polynomial of the third order and considered as a fixed effect. The random regression model can be described as:

$$y_{ij} = FE + \sum_{m=0}^{k_b-1} b_m \phi_m(t_i) + \sum_{m=0}^{k_A-1} \alpha_{jm} \phi_m(t_{ij}) + \sum_{m=0}^{k_M-1} \gamma_{jm} \phi_m(t_{ij}) + \sum_{m=0}^{K_C-1} \delta_{jm} \phi_m(t_{ij}) + \sum_{m=0}^{K_Q-1} \rho_{jm} \phi_m(t_{ij}) + e_{ij}$$

where y_{ij} = i^{th} measure of the j^{th} animal, FE = set of fixed effects; b_m = fixed regression coefficient for the mean growth curve of the population; $\phi_m(t_i)$ = m^{th} value of the Legendre polynomial according to age of the animal (t_i); $\phi_m(t_{ij})$ = regression functions describing the trajectories of each individual j according to age (t_i) for the following random effects: direct genetic, maternal genetic, animal permanent environmental, and maternal permanent environmental effects; α_{jm} , γ_{jm} , δ_{jm} , ρ_{jm} = random regression coefficients for direct and maternal additive genetic, permanent environment of the animal and maternal, respectively, for each animal; k_b , k_A , k_M , K_C y K_Q = order of Legendre

polynomials for the effects included in the model; e_{ij} = random error associated with each age (i) of each animal (j). The matrix notation for the regression model was as follows:

$$y = X\beta + Z_1\alpha + Z_2\gamma + W_1\delta + W_2\rho + e$$

$E[y] = X\beta$, $E[\alpha] = 0$, $E[\gamma] = 0$, $E[\delta] = 0$, $E[\rho] = 0$, $E[e] = 0$, and the (co)variance matrix of the random effects was:

$$Var \begin{bmatrix} \alpha \\ \gamma \\ \delta \\ \rho \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_A \otimes A & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_M \otimes A & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_C \otimes I_{N_a} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_Q \otimes I_{N_m} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R \end{bmatrix}$$

where, y = vector of observations; β = vector of fixed effects (including FE and b_m); α = vector of direct additive genetic random coefficients; γ = vector of maternal additive genetic random coefficients; δ = vector of the animal permanent environment coefficients; ρ = vector of maternal permanent environment coefficients; e = vector of residual effects; X , Z_1 , Z_2 , W_1 , W_2 = incidence matrices for fixed effects and random effects (additive genetic direct, maternal genetic, animal permanent environment, and maternal permanent environment, respectively); K_A , K_M , K_C y K_Q = (co)variance matrices between random regression coefficients for additive genetic (direct and maternal), and animal and maternal permanent environmental effects, respectively; A = relationship matrix; I = identity matrix; N_a and N_m = number of animals with records and number of mothers, respectively; $\otimes$ = Kronecker product between matrices; R = block diagonal matrix containing residual variances. Correlations between random regression coefficients for different effects were assumed to be zero.

Covariance components were estimated by restricted maximum likelihood using the WOMBAT statistical program (Meyer, 2007). Eleven models with first to sixth order Legendre polynomials were used to describe direct and maternal additive genetic effects, as well as animal and maternal permanent environment effects. Five variance classes were used to model the residual, and were defined for the following age ranges: $1 \leq t \leq 365$ days, $366 \leq t \leq 550$ days, $551 \leq t \leq 732$ days, and $733 \leq t \leq 900$ days, where t = age of the animal. A heterogeneous residual variance structure was used to model weight records at different ages because the temporal environment does not affect the entire growth curve in the same manner (Boligon et al., 2010, Dias et al., 2006). In addition, much of the residual variance can contaminate the permanent environment variance of the animal, assuming homogeneity of residual variances (Huisman et al., 2002).

Random regression models were compared using the Akaike information criterion (AIC; Akaike, 1974) and the Bayesian Information Criterion (BIC; Schwarz, 1978), which allow comparing non-nested models, and negatively affect models with a high number of parameters, being BIC the most rigorous criterion (Nunez-Anton and Zimmerman, 2000). Low AIC and BIC values mean better fit of the model.

$$AIC = -2\log L + 2p$$

$$BIC = -2\log L + p\log(N - r(X))$$

where p is the number of model parameters, N is the number of observations, $\log L$ is the natural logarithm of the maximum likelihood function, and $r(X)$ is the rank of the X matrix (incidence matrix for the fixed effects).

RESULTS AND DISCUSSION

No literature reports were found in which variance components and genetic parameters for live weight in buffaloes were estimated using random regression models. For this reason, the results of this study were compared with studies conducted with zebu and other beef breeds.

A summary of the results for all the regression models is presented in Table 1. The worst fit corresponded to those models that included a small number of parameters (models M3311 and M3322). As the order of polynomials increased, it became more difficult to obtain convergence, which was not possible to achieve using M5363 with 53 parameters. Boligon et al. (2010), reported the same problem when they used records from birth to eight years of age in Nelore females in Brazil. Similarly, Meyer (1999) and Arango et al. (2004) using female records until middle age could not reach convergence when the models included a large number of parameters. Some studies have found that high fit-orders increase the flexibility of the curve (Day et al., 2006), simultaneously increasing the computational requirements and convergence difficulties (Kirkpatrick et al., 1994, Meyer 1998).

According to AIC, model M4364 that included 52 parameters showed the best fit to the data (Table 1), although the difference was small compared with M4363 (AIC = 184,180.712 and 184,185.492 for M4364 and M4363, respectively). However, according to BIC, M4363, a model with only 48 parameters, was sufficient to fit the data. Model M4363 was adequate to model variances using records from birth to eight years of age for Nelore females in Brazil (Boligon et al., 2010) and for Tabapuã breed from birth to 660 days of age (Sousa Jr. et al., 2010).

The (co)variance components estimated between random regression coefficients, and between them, and the matrix of eigenvalues obtained with models M4364 and M4363, are shown in Table 2. These models had eigenvalues close to zero for direct and maternal genetic effects and maternal permanent environment effect, possibly indicating over-fitting.

For all random effects, the greatest variance was in the intercept. The correlations between the intercept and linear regression coefficients were high and positive in both models for additive direct genetic effects (M4363 = 0.87; M4364 = 0.92), additive maternal genetic effects (M4363 = 0.63; M4364 = 0.70), animal permanent environmental effects (M4363 = 0.76; M4364 = 0.75) and maternal permanent environmental effects (M4363 = 0.94; M4364 = 0.84). On the other hand, correlations between the intercept and the quadratic regression coefficient were negative for additive maternal genetic effects (M4363 = -0.79; M4364 = -0.80), animal permanent environmental effects (M4363 = -0.45; M4364 = -0.44), and maternal permanent environmental effects (M4363 = -0.99; M4364 = -0.76). Similar results were reported by Meyer (2001b), Albuquerque and Meyer (2001), Sousa Jr. et al. (2010), and Boligon et al. (2010) for weights from birth to weaning and from birth to 630, 660 and 2,920 days of age, respectively; except for Sousa Jr. et al. (2010) who found a negative correlation between the intercept and the coefficient of linear regression for additive maternal genetic effects (-0.52).

The estimated variances for weight from birth to 900 days obtained with M4363 and M4364 are presented in Figure 1. Phenotypic variances were similar with both models, increasing strongly from birth to 600 days, with small changes between 600 and 800 days, and sharp increases again from this age to 900 days. These results are in agreement with those reported by Sousa Jr. et al. (2010), who found increases in phenotypic variance with

age, from birth to 580 days. Boligon et al. (2010) reported strong increases up to 2000 days of age, and smaller differences were observed thereafter. Likewise, similar variance values were reported by Boligon et al. (2010), while Sousa Jr et al. (2010) reported higher phenotypic variances for the Tabapuã breed from birth to 660 days of age.

Direct additive genetic variances were similar with both models to 700 days of age, but M4363 estimated higher variances thereafter (Figure 1). This variance increased with age from 0.39 kg² (at birth) to 653.55 kg² (at 900 days of age) in the M4363 model. Sousa Jr. et al. (2010) reported higher variances in Tabapuã breed (birth: 11.74 kg², 660 days old: 980.21 kg²). In this study, high increases in estimates of direct additive genetic variances existed from birth to 160 days of age, and then lower increases up to 600 days, with high increases again thereafter until the end of the curve. Increases in values of direct additive genetic variances during growth have been reported by Albuquerque and Meyer (2001), Nobre et al. (2003) and Dias et al. (2006), for Nelore and Tabapuã breeds.

Animal permanent environmental variances were very similar with both models (Figure 1). A sharp increase was observed from birth (1.93 kg²) to 600 days of age (794.55 kg²), decreasing slightly until 760 days of age (668.84 kg²), remaining almost constant until 790 days of age, and increasing thereafter until 900 days (857.40 kg²). Increases in estimates of permanent environment variances as the animal ages have also been reported by Albuquerque and Meyer (2001), Dias et al. (2006), Boligon et al. (2010), and Sousa Jr et al. (2010).

Maternal additive genetic variances were similar for M4363 and M4364 models (Figure 1). This variance increased from birth (0.09 kg²) until one year of age (77.79 kg²), then decreased until 784 days (58.96 kg²), and showed a slight increase towards the end of

the curve (61.61 kg^2 at 900 days of age). Several researchers have reported changes in maternal additive genetic variance with age. Sousa Jr et al. (2010) reported an increase up to 200 days of age, a later slight downward trend, and increases again towards the end of the studied period (660 days of age) in Tabapuã breed. Boligon et al. (2010) reported an increase until about a year of age, and then a decline until the end of the period (2,920 days) in Nelore cows.

The M4363 and M4364 models differed mainly with respect to variances for maternal permanent environment effects (Figure 1), which was expected after increasing the polynomial order for this effect from 3 to 4. These variances increased from birth (0.37 kg^2) to 414 days of age (87.16 kg^2) for M4363, declining in later ages until the end of the period (38.97 kg^2 at 900 days of age). On the other hand, for M4364 the variance increased from birth (0.32 kg^2) until 268 days of age (72.75 kg^2), with a slight decrease until 478 days (64.44 kg^2), then a sharp increase until 900 days ($\text{kg}^2 128.67$). Similar results were reported by Boligon et al. (2010), who observed increases in variance for M4363 until approximately 400 days of age, declining thereafter until the end of the period. They also found that variance increased at the end of the curve when the order of the polynomial changed from 3 to 4. A different trend was reported by Sousa Jr et al. (2010), who observed increases from birth to 660 days of age.

The direct heritability estimated by both models showed the same trend, with M4363 having higher heritabilities at the beginning and at the end of the period (Figure 2). Heritability for M4363 increased from birth until 120 days of age (reaching 0.32), then decreased until one year of age (0.18), tended to stay stable until 600 days (0.19), and sharply increased from there up to 835 days, when it leveled at 0.39 (Figure 2). Sousa Jr et

al. (2010) reported higher heritabilities: 0.15 at birth, reaching 0.45 at 660 days of age. Boligon et al. (2010) found increases from birth (0.34) to 550 days of age (0.42), remaining constant up to 8 years of age (0.39). Meyer (1999) also reported higher heritabilities, with large variations of direct heritability estimates in the age interval limits 0.57 and 0.42 (2 years) and 0.37 and 0.49 (10 years of age) for Polled Hereford and Wokalup females, respectively.

Several studies have reported a direct heritability decrease after birth, followed by increases after weaning (Albuquerque and Meyer, 2001; Meyer, 2001a; Dias et al., 2006). Thus, heritabilities estimated by Dias et al. (2006) in Tabapuã breed decreased from birth (0.28) until pre-weaning (0.21) at about 240 days of age, with a rising trend thereafter - reaching 0.24 at 550 days. Nobre et al. (2003) estimated lower heritabilities, ranging from 0.14 (at birth) to 0.27 (683 days of age) for Nelore cattle.

The direct heritabilities estimated in this study for weaning weight (270 days of age), 12, 18 and 24 months of age were 0.21, 0.18, 0.18 and 0.31, respectively. They were lower than those found by Bolivar et al. (in press) for buffalo populations in the Colombian low tropics. Their values were 0.45, 0.42, 0.42 and 0.41 for weaning weight (WW), 12, 18 and 24 months, respectively. These divergent results could be explained by differences in the methodologies used. Bolivar et al. (in press) used a unitrait animal model for WW and multitrait for weight at 12, 18 and 24 months, using the MTDFREML program. Furthermore, they took into account the direct additive genetic, maternal genetic, and maternal permanent environmental random effects for WW, while considering only the direct additive genetic effect for weight at 12, 18 and 24 months.

Similar heritabilities for WW were reported by Agudelo et al. (2009) for buffaloes in the Colombian Middle-Magdalena river area (0.19), and by Thiruvankadan et al. (2009) for weight at nine months of age for Murrah buffaloes in India (0.18). On the other hand, Mendes et al. (2007) estimated a higher heritability (0.45) for buffaloes in Brazil, while Angulo et al. (2006) estimated a lower value (0.10) for three buffalo herds located in the Colombian Middle-Magdalena river area.

The heritability estimated at 12 months of age by Thiruvankadan et al. (2009) was similar to that found in this work (0.20), while Agudelo et al. (2009) reported a higher value (0.39). Higher heritabilities were reported by Mendes et al. (2007) in buffaloes from the PROMEBUL breeding program in Brazil: 0.46 and 0.58 for weight at 365 and 550 days, respectively.

According to the direct genetic effect results observed, selection for weight may be more effective if done after 600 days of age, period with higher estimates of additive genetic variance and heritability, allowing a better identification of genetically superior animals. Importantly, the later the selection for weight is made, the greater the likelihood of increasing the weight of the adult animal, as the correlation between weights after one year of age with adult weight is high. An increase in size of the adult animal is not always desirable (Dias et al., 2006; Boligon et al., 2008).

The permanent environmental variance of the animal as a proportion of phenotypic variance, obtained with M4363 and M4364 models, was very similar. This variance increased until 60 days (0.38), remaining relatively constant up to 120 days (0.36), then increased up to 570 days (0.66), and then went down again until 855 days (0.50), stabilizing until the end curve (Figure 2). In studies using random regression models, different trends

have been reported for the proportion of permanent environmental variance. Working on Nelore cows, Boligon et al. (2010) found increases from birth until approximately 120 days of age (0.53), followed by a slight decrease until about 300 days of age, and rising slightly from there until the end of the period evaluated. Sousa Jr et al. (2010) reported lower values for Tabapuã animals, showing an increase from birth (0.01) up to 160 days (0.29) with a gentle decline until 440 days of age (0.23), becoming constant from then on (0.24).

Different results were reported by Dias et al. (2006) for Tabapuã breed, finding a slight decrease from birth (0.38) to 50 days of age or so (0.33), and a trend to increase with age thereafter. Meyer (2001a) found a trend to increase with age in Polled Hereford breed, although in the same study she observed a different trend for the Wokalup breed: rapidly increasing from birth until weaning and tending to decrease thereafter. Different results were reported by Albuquerque and Meyer (2001) who observed a rapid increase in the animal permanent environmental variance from birth (0.28) up to 50 days (0.42), remaining almost constant up to 580 days of age and significantly decreasing later with age.

Maternal heritabilities estimated by both models were similar, and they increased from birth (0.01) up to 245 days (0.11), remaining constant until 282 days, followed by a decrease at older ages (Figure 2). Boligon et al. (2010) reported similar results for Nelore cows using a similar random regression model (M4363 with five classes of residual variances), finding increases from birth (0.03) to 240 days of age (0.09) followed by a decrease at later ages. Similar trends were reported in Brazil by Albuquerque and Meyer (2001), Nobre et al. (2003) and Dias et al. (2006) for maternal heritabilities estimated for Zebu animals from birth to 630, 683, and 550 days of age. These results indicate a greater

response to selection for maternal ability can be expected if there is more emphasis on selection by weight near weaning age.

Buffalo studies conducted by Agudelo et al. (2009) in Colombian low tropics using unitrait models for WW (average age 270 days) found a similar heritability to that estimated in this study (0.12), while Bolivar et al. (in press) estimated a higher maternal heritability value (0.28). Thiruvankadan et al. (2009) in India and Mendes et al. (2007) in Brazil estimated lower maternal heritability for weight at nine months in Murrah buffaloes (0.05 and 0.09, respectively).

The maternal permanent environmental variance, as a fraction of the phenotypic variance, had a trend similar to that observed for maternal heritability. Model M4363 estimated lower values at the beginning and end of the curve, compared with those obtained by M4364 (Figure 2). Model M4363 showed an increase from birth (0.04) until 260 days (0.12), remaining constant until 300 days, followed by a decrease until the end of the curve. A different trend was reported by Boligon et al. (2010) in Nelore females, for which it decreased from birth (0.15) to 120 days of age (0.06) and remained constant from there. These results also differed from those by Albuquerque and Meyer (2001) in Nelore cattle; they observed a consistent pattern despite of the age. On the other hand, Sousa Jr et al. (2010) found a slight increase with age, ranging from 0.02 (at birth) to 0.15 (at 660 days of age).

The low direct heritability value, along with the high maternal permanent environmental variance as a proportion of phenotypic variance, and the high maternal heritability at the age of weaning, may be all influenced by the stress derived from the change in diet when the calf is separated from its mother. For the system consisting of

breeding without milking, for example, the calves of the high producing dairy buffaloes often suffer more stress, which can lead to high weight loss after weaning. For dual purpose cattle (meat and dairy), the weight gain at weaning and afterwards depends on the way her mother was milked throughout lactation. Thus, it is frequent that calves from high yielding buffalo cows end up having lower weaning weights at weaning and have a higher level of compensatory growth afterwards. All these effects explain why the impact of the cow on the calf weight gain at mid ages is even higher than at younger ages. In ages close to birth, independent of milk yield, the calf has enough food to express its genetic potential, which may explain the direct heritability increase until 120 days. At later ages, the effect of the mother greatly decreases and the calf is under the influence of its own ability to harvest and use forage for growth and weight gain, regardless of the milking ability its mother.

Table 3 presents the direct and maternal genetic correlations for weight at different ages obtained with model M4363. In general, the direct genetic correlations decreased as the distance between records increased. Genetic correlations were higher than 0.60, suggesting that selection for heavier weights at any age will promote heavier weights from birth to 900 days of age. Selection for higher weight at any age can increase the weight of the female at maturity, and the later the selection is carried out, the greater will be the response in adulthood (Boligon et al., 2010). In buffalo production systems, selection is mainly conducted using the weight from weaning to 18 months. This could increase the size of adult buffalo cows, which is not always desirable.

High direct genetic correlations have also been reported by Dias et al. (2006) in Tabapuã animals. They estimated correlations between weights at 240 and 365 days, 240 and 550 days, and between 365 and 550 days, corresponding to 0.98, 0.78 and 0.88,

respectively. For this same breed, Sousa Jr et al. (2010), estimated correlations of 0.94, 0.85 and 0.84 between weight at 240 days and weight at 365, 540 and 660 days of age, respectively. Correlations were 0.95 and 0.93 between weight at 365 days and 540 and 660 days. Similarly, the correlation between weight at 540 and 660 days was 0.94. Lower correlations were observed by Boligon et al., (2010) in Nelore cows, between weight at 240 days, and weight to 365, 540 and 730 days (0.83, 0.64 and 0.62, respectively), and between weights at 365 and 540 days (0.85). However, similar correlations were estimated between weight at 365 and 730 days (0.78), and between 540 and 730 days (0.86).

Maternal genetic correlations between weights from 240 to 365 days of age were equal and high. These results suggest that the maternal effects at these ages (240, 270, 300, and 365 days) are controlled by the same genes. One would expect the same maternal effects until weaning, since maternal ability is mainly due to milk production. In buffalo production systems in Colombia weaning is not done at a standard age, and it depends on the system, rearing without milking or dual purpose production. Weaning age usually spans from 8 to 12 months of age. High correlations were also observed between weights up to 18 months (correlations between 0.84 and 0.91), which is probably a carryover effect after weaning. This effect may be observed until later ages, depending on milking management in dual-purpose systems (e.g., calf age when milking started, level of milk restriction, lactation length, among others). Correlations were lower with increasing distance between ages, coinciding with those reported by Sousa Jr et al. (2010) and Boligon et al., (2010).

Similar maternal genetic correlations were reported by Day et al. (2006) in Tabapuã animals. They estimated correlations between weights at 240 and 365, and 240 and 550 days to be 0.99 and 0.89, respectively. The correlation was 0.94 for weights at 365 and 550

days of age. Eler et al. (1995) obtained a high correlation between weaning weight and weight at one year of age (0.84), but a low correlation between weaning weight and weight at 18 months (0.18) for Nelore animals. Albuquerque and Meyer (2001) analyzed weights from birth to 630 days of age in Nelore animals and found low maternal genetic correlations between birth weight and weight at 240, 360 and 550 days of age, and correlations close to one among the other ages. Nobre et al. (2003) obtained correlations above 0.70 for weights at 243 and 601 days of age. Maternal genetic correlations between weight at 240 days and weight at 365, 540, and 730 days, corresponding to 0.87, 0.67 and 0.54, respectively, were estimated by Boligon et al., (2010) in Nelore cows.

Animal and maternal permanent environmental correlations for weights at different ages, obtained with M4363, are presented in Table 4. The animal permanent environment correlations decreased as distance between records increased, coinciding with the observations by Boligon et al., (2010) and Albuquerque and Meyer (2001). Boligon et al., (2010) worked with Nelore cows and reported correlations between weight at 240 days and weight at 365, 540, and 730 days corresponding to 0.73, 0.70 and 0.66, respectively. Their correlations between weight at 365 days and weight at 540 and 730 days were 0.72 and 0.69, respectively, while they found a lower correlation between weight at 540 and 730 days (0.64). Sousa Jr et al. (2010) reported high correlations between weights at 240 and 235 days (0.91), 240 and 550 days (0.80), and between 365 and 550 days (0.90) in Tabapuã animals. Lower correlations were observed by Albuquerque and Meyer (2001), and Dias et al. (2006) for Nelore and Tabapuã animals.

The maternal permanent environmental correlations for all weights were close to 1, in agreement with Albuquerque and Meyer (2001): 1.00 for weight at 240 and 360 days,

0.98 at 240 and 550 days, and 0.99 for 360 and 550 days of age (0.99). Similarly, Sousa Jr et al. (2010) and Dias et al. (2006) obtained high correlations after weaning, with values close to one. Lower correlations were reported by Boligon et al., (2010) in Nelore cows: 0.63, 0.54 and 0.50 between weight at 240 and 365, 540, and 730 days, respectively. Values were 0.58 and 0.60 between weight at 365 and weight at 540 and 730 days, respectively; while it was 0.59 between weight at 540 and 730 days of age.

The two main eigenfunctions for genetic direct effects obtained with model M4363 are presented in Figure 3. Eigenfunctions are continuous functions and their coefficients are formed by the elements of the eigenvectors of the (co)variance matrices. A specific eigenvalue is attributed to each eigenfunction and corresponds to the proportion of total variation that is explained by such eigenfunction. The eigenvalues and eigenfunctions of genetic covariance functions provide an insight into the way selection affects the character under consideration (Kirkpatrick et al., 1990).

The two main eigenvalues of the additive direct (co)variance matrix explained 97.56% of the total additive genetic variance, whereas the first eigenvalue accounted for 84.89% of the total additive genetic variance. The large size of the first eigenvalue suggested that selection using the first eigenfunction will result in rapid changes on the growth curve (Kirkpatrick et al., 1990). The first eigenfunction were all positive, increasing from birth up to 200 days of age, and remained almost constant from then until 460 days, followed by an increase at older ages. These changes indicate that the factors that have an effect on weight differentially affect it along the growth curve (Takma and Akbaş, 2007). The second eigenfunction was positive up to 260 days, and from 600 days of age until the end of the period evaluated, showing negative values between 260 and 600 days. These

changes indicate that selection for this component will have positive effects at the beginning and the end of the trajectory. However, the genetic change due to selection using this component should be small, since this was responsible for only 12.67% of the total additive genetic variance (Kirkpatrick et al., 1990).

Similar results were reported by Boligon et al. (2010) for Nelore females from birth to 8 years of age, and by Arango et al. (2004) for females of various beef breeds from 19 to 103 months of age. Those studies found that the first eigenvalues explained 90.56 and 96% of the additive variance, respectively. Similarly, Meyer (1999) found that the first eigenvalue explained 91.8 and 97.3% of the total additive variance in Polled Hereford and Wokalup animals, respectively. In those three studies researchers also found that the first eigenfunctions were positive throughout the growth trajectory.

FINAL REMARKS

The model with fourth- and sixth- order polynomials for direct additive genetic and animal permanent environmental effects, respectively, and third-order polynomials for maternal genetic and maternal permanent environmental effects was the most appropriate to describe the changes in the variances of weights from birth to 900 days of age in grazing buffaloes in Colombia.

According to the changes observed in the maternal genetic (co)variances of weight with age, selection based on weights close to the weaning age can result in a greater response for maternal ability. However, considering the period where direct genetic variances and direct heritabilities were higher, a greater efficiency can be expected in

selecting for weight since 600 days of age, permitting better identification of genetically superior buffaloes for this trait. Furthermore, direct and maternal genetic correlation values suggest that buffalo selection for heavier weights at any age would promote heavier weights from birth to 900 days of age.

LITERATURE CITED

- Agudelo, G. D, L. A. Hurtado, M. F. Cerón-Muñoz. 2009. Growth Curves and Genetic Parameters in Colombian Buffaloes (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae). *Rev Colomb Cienc Pecu.* 22:178-188.
- Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. *Trans. Autom. Control* 19:716-723.
- Albuquerque L. G. and K. Meyer. 2001. Estimates of covariance functions for growth from birth to 630 days of age in Nelore cattle. *J Anim Sci.* 79: 2776-2789.
- Albuquerque, L. G., and L. El Faro. 2008. Comparação entre os valores genéticos para características de crescimento de bovinos da raça Nelore preditos com modelos de dimensão finita e infinita. *R. Bras. Zootec.* 37: 238-246.
- Angulo, R, G. D. Agudelo, M. F. Cerón-Muñoz, S. Jaramillo-Botero. 2006. Genetic parameters in buffalo calves fed at full milk in beef production system in middle Magdalena region of Colombia. *Liv Res Rur Dev.* 18 (12).
- Arango, J. A., L. V. Cundiff, and L. Van Vleck. 2004. Covariance functions and random regression models for cow weight in beef cattle. *J Anim Sci.* 82: 54-67.

- Boligon, A. A., L. G. Albuquerque, P. R. N. Rorato. 2008. Associações genéticas entre pesos e características reprodutivas em rebanhos da raça Nelore. R. Bras. Zootec. 37: 596-601.
- Boligon, A. A, M. E. Z. Mercadante, S. Forni, R. B. Lobo, and L. G. Albuquerque. 2010. Covariance functions for body weight from birth to maturity in Nellore cows. J Anim Sci. 88: 849-859.
- Bolívar, V. D. M., M. F. Cerón-Muñoz, E. J. Ramírez, G. D. Agudelo, T. Cifuentes. Parámetros genéticos para características de crecimiento en búfalos (*Bubalis bubalis Artiodactyla, Bovidae*) en Colombia. Rev Colomb Cienc Pecu. En Prensa.
- Dias, L. T., L. G. Albuquerque, H. Tonhati, and R. A. Teixeira. 2006. Estimación de parâmetros genéticos para peso do nascimento aos 550 dias de idade para animais da raça Tabapuã utilizando modelos de regressão aleatória. R. Bras. Zootec. 35:1915–1935.
- Eler, J. P., L. D. Van Vleck, J. B. S Ferraz, R. B. Lôbo. 1995. Estimation of variances due to direct and maternal effects for growth traits in Nelore cattle. J. Anim. Sci. 73: 3253-3258.
- Huisman, A. E., R. F. Veerkamp, and J. A. M. Van Arendonk. 2002. Genetic parameters for various random regression models to describe the weight data of pigs. J. Anim. Sci. 80:575–582.
- Kirkpatrick, M., D. Lofsvold, and M. Bulmer. 1990. Analysis of the inheritance, selection and evolution of growth trajectories. Genetics 124:979–993.

- Kirkpatrick, M., W.G Hill, R. Thompson. 1994. Estimating the covariance structure of traits during growth and aging, illustrated with lactations in dairy cattle. *Genetics Research*. 64: 57-69.
- Mendes, M. C. H, A. A. Ramos, C. P. L. Souza, J. C. Souza, W. R. Lamberson. 2007. Genetic and phenotypic trends for growth traits of buffaloes in Brazil. *Ital J Anim Sci*. 6 Suppl. 2: 325-327.
- Meyer, K. 1998. Estimating covariances functions for longitudinal data using a random regression model. *Genet. Sel. Evol.*30: 221-240.
- Meyer, K. 1999. Estimates of genetic and phenotypic covariance functions for post weaning growth and mature weight of beef cows. *J. Anim. Breed. Genet.* 116:181–205.
- Meyer, K. 2001a. Estimates of direct and maternal covariance functions for growth of Australian beef calves from birth to weaning. *Genet. Sel. Evol.* 33:487–514.
- Meyer, K. 2001b. Estimates of genetic covariance functions assuming a parametric correlation structure for environmental effects. *Genet. Sel. Evol.* 33:557–585.
- Meyer, K. 2004. Scope for a random regression model in genetic evaluation of beef cattle for growth. *Livest. Prod. Sci.* 86:69–83.
- Meyer K. 2007. “WOMBAT –A program for mixed models analyses in quantitative genetics by REML”. *J Zhejiang Uni SCIENCE B*. 8: 815-821.
- Nobre, P. R. C., I. Misztal, S Tsuruta, J. K. Bertrand, L. O. C Silva, and P. S. Lopes. 2003. Analysis of growth curves of Nellore cattle by multiple-trait and random regression models. *J Anim Sci*. 81:918-926.

- Núñez-Anton, V., and D. L. Zimmerman. 2000. Modeling nonstationary longitudinal data. *Biometrics*. 56: 699-705.
- Sakaguti, E. S., M. A. Silva, R. L. Quaas, E. N. Martins, P. S. Lopes and L. O. C. Silva. 2003. Avaliação do crescimento de bovinos jovens da raça Tabapuã, por meio de análises de funções de covariância. *R. Bras. Zootec.* 32:864–874.
- Schwarz, G. 1978. Estimating the dimension of a model. *Ann. Stat.* 6:461-464.
- Sousa Jr., S. C., S. M. P. Oliveira, L. G. Albuquerque, A. A. Boligon, and R. M. Filho. 2010. Estimação de funções de covariância para características de crescimento da raça Tabapuã utilizando modelos de regressão aleatória. *R. Bras. Zootec.* 39: 1037-1045.
- Takma, Ç., Akbaş, Y. 2007. Estimates of genetic parameters for test day milk yields of a Holstein Friesian herd in Turkey with random regression models. *Arch. Tierz., Dummerstorf.* 50: 327-336.
- Thiruvankadan, A. K., S. Panneerselvam and R. Rajendran. 2009. Non-genetic and genetic factors influencing growth performance in Murrah Buffalos. *S Afri J Anim Sci.* 39 Suppl 1: 102-106.
- Tier, B., and K. Meyer. 2004. Approximating prediction error covariances in multiple-trait and random regression models. *J. Anim. Breed. Genet.* 121:77–89.
- Torres, G. E. Búfalos: Una Especie Promisoria. 2009 [Agosto 6, 2011].
[URL:http://www.perulactea.com/2009/09/30/búfalos-una-especie-promisoria/](http://www.perulactea.com/2009/09/30/búfalos-una-especie-promisoria/)

Table 1. Order of fit of additive direct (K_A) and maternal (k_M) effects and animal (K_C) and maternal (K_Q) permanent environmental effects, number of parameters (N_p), log-likelihood value (Log), Akaike information criterion (AIC), and Bayesian information criterion (BIC).

Model	K_A	k_M	K_C	K_Q	N_p	Log	AIC	BIC
M3311	3	3	1	1	19	-92590.244	185218.488	185377.690
M3322	3	3	2	2	23	-92569.950	185185.900	185378.618
M3333	3	3	3	3	29	-92525.659	185109.318	185352.312
M4422	4	4	2	2	31	-92311.001	184684.002	184943.752
M4433	4	4	3	3	37	-92229.859	184533.718	184843.744
M4533	4	5	3	3	42	-92195.939	184475.878	184827.800
M4353	4	3	5	3	42	-92146.653	184377.306	184729.228
M4453	4	4	5	3	46	-92142.424	184376.848	184762.284
M4363*	4	3	6	3	48	-92044.746	184185.492	184587.688
M4364**	4	3	6	4	52	-92038.356	184180.712	184616.424
M4464	4	4	6	4	56	-92038.317	184188.634	184657.862

* Best model according to BIC

** Best model according to AIC

Table 2. Estimates of variances (diagonal), covariances (below the diagonal), correlations among random regression coefficients (above the diagonal) and eigenvalues (λ) of the (co)variance matrix for models with order of fit 4,3,6,3 (M4363) and 4,3,6,4 (M4364) for direct and maternal genetic effects and animal and maternal permanent environmental effects, respectively.

Effect		0	1	2	3	4	5	λ
Model M4363								
Additive direct	0	239.72	0.87	-0.002	0.43			272.17
	1	80.67	35.69	-0.11	0.11			40.63
	2	-0.15	-3.06	20.15	0.82			7.79
	3	33.66	3.47	18.54	25.03			0.01
Additive maternal	0	86.12	0.63	-0.79				96.17
	1	18.04	9.68	-0.01				9.72
	2	-23.24	-0.12	10.09				0.01
Animal permanent environmental	0	534.66	0.76	-0.45	-0.62	0.22	0.04	655.23
	1	226.05	164.94	0.15	-0.61	-0.29	-0.06	104.54
	2	-80.35	14.87	59.26	0.12	-0.19	-0.02	32.50
	3	-48.14	-26.10	3.13	11.12	0.24	-0.28	11.18
	4	-24.02	-17.64	-7.10	3.80	22.59	0.72	6.58
	5	3.73	-3.04	-0.78	-3.86	14.32	17.55	0.09
Maternal permanent environmental	0	97.86	0.94	-0.99				110.00
	1	24.19	6.68	-0.91				0.75
	2	-24.51	-5.83	6.21				0.00
Model M4364								
Additive direct	0	225.20	0.92	-0.17	0.26			259.27
	1	84.53	37.40	-0.18	0.08			36.14
	2	-11.40	-4.98	20.79	0.85			5.99
	3	16.54	2.17	16.39	18.02			0.01
Additive maternal	0	91.45	0.70	-0.80				102.02
	1	20.55	9.43	-0.13				8.16
	2	-23.32	-1.23	9.30				0.01
Animal permanent environmental	0	533.66	0.75	-0.44	-0.54	-0.22	0.04	650.10
	1	221.58	163.44	0.16	-0.55	-0.29	-0.06	107.60
	2	-79.46	16.53	61.80	0.16	-0.19	-0.02	32.47
	3	-45.07	-25.68	4.55	13.07	0.22	-0.25	11.24
	4	-23.94	-17.82	-6.93	3.78	22.35	0.72	10.46
	5	3.89	-2.97	-0.64	-3.81	14.33	17.63	0.09
Maternal permanent environmental	0	109.96	0.84	-0.76	0.71			118.25
	1	22.31	6.46	-0.98	0.22			5.16
	2	-12.46	-3.91	2.45	-0.08			0.05
	3	15.98	1.19	-0.27	4.60			0.00

Table 3. Estimates of additive direct (above the diagonal) and additive maternal (below the diagonal) correlations for weights from 240 to 900 days of age obtained with model M4363.

Weight¹	W240	W270	W300	W365	W550	W730	W900
W240	–	0.99	0.97	0.87	0.87	0.87	0.84
W270	0.99	–	0.99	0.93	0.93	0.87	0.84
W300	0.99	0.99	–	0.97	0.95	0.82	0.71
W365	0.99	0.99	0.99	–	0.95	0.80	0.60
W550	0.84	0.86	0.87	0.91	–	0.86	0.74
W730	0.59	0.61	0.63	0.69	0.93	–	0.98
W900	0.41	0.55	0.46	0.52	0.83	0.98	–

¹Weights at 240 (W240), 270 (W270), 300 (W300), 550 (W550), 730 (W730) and 900 (W900) days of age.

Table 4. Estimates of animal permanent environmental (above the diagonal) and maternal permanent environmental (below the diagonal) correlations for weights from 240 to 900 days of age obtained with model M4363.

Weight¹	W240	W270	W300	W365	W550	W730	W900
W240	–	0.99	0.97	0.87	0.64	0.44	0.18
W270	0.99	–	0.99	0.96	0.66	0.48	0.44
W300	0.99	0.99	–	0.97	0.67	0.53	0.38
W365	0.99	0.99	0.99	–	0.74	0.63	0.56
W550	0.98	0.99	0.99	0.99	–	0.93	0.58
W730	0.97	0.98	0.98	0.98	0.99	–	0.80
W900	0.96	0.97	0.96	0.97	0.98	0.99	–

¹Weights at 240 (W240), 270 (W270), 300 (W300), 550 (W550), 730 (W730) and 900 (W900) days of age.

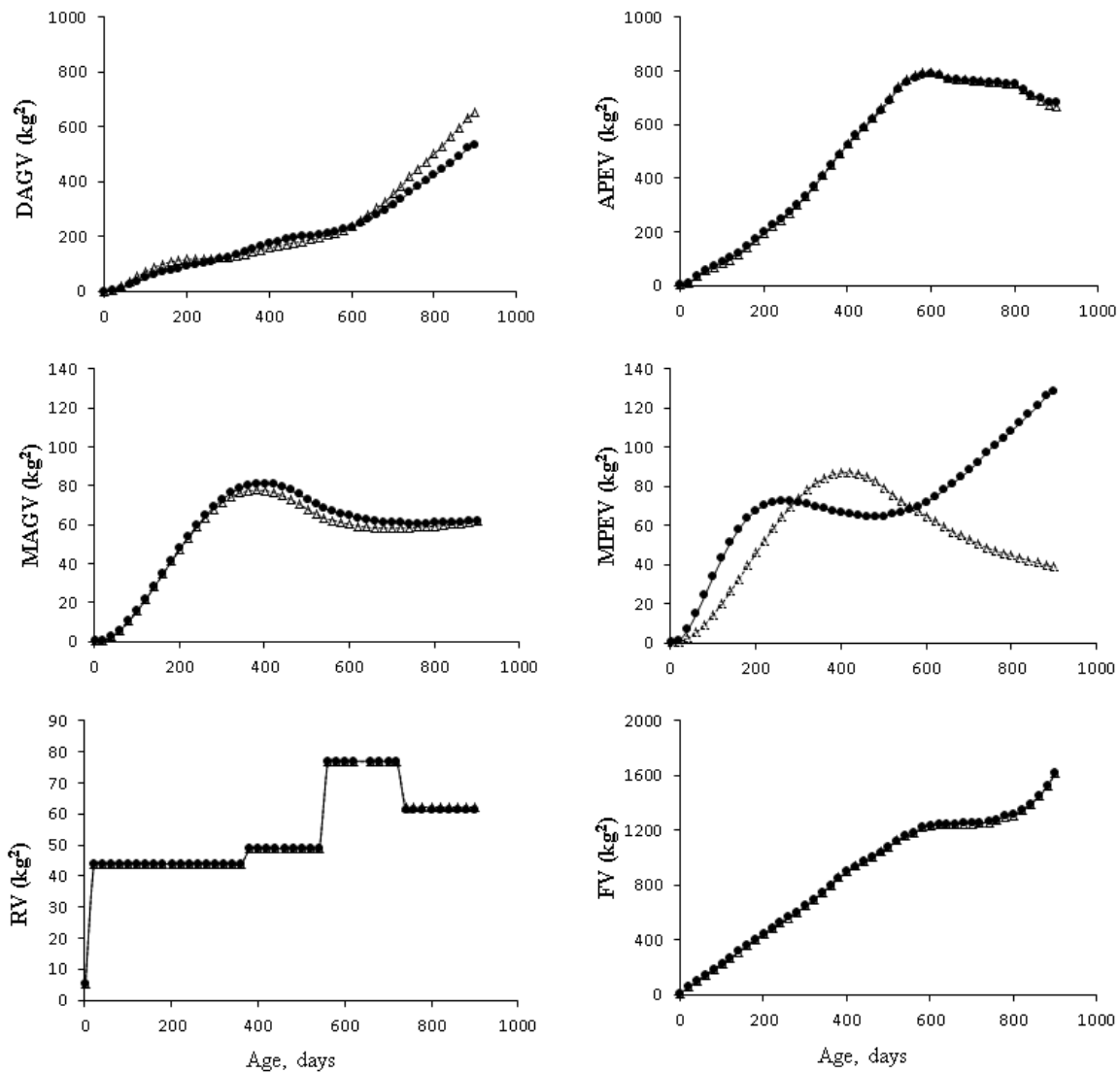


Figure 1. Estimates of direct additive genetic (DAGV), additive maternal (MAGV), animal permanent environmental (APEV), maternal permanent environmental (MPEV), residual (RV) and phenotypic (FV) variances, obtained with models M4363 (Δ) and M 4364 ($\bullet$).

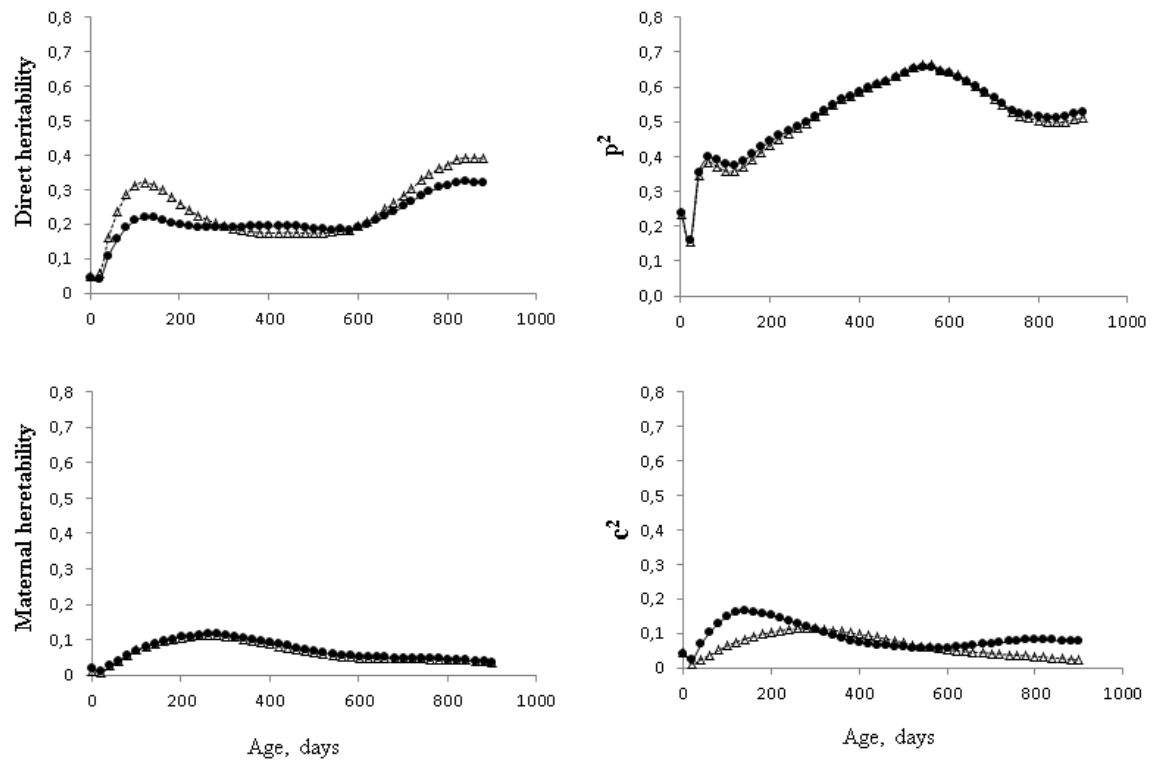


Figure 2. Direct and maternal heritability, animal permanent environmental variance as part of phenotypic variance (p^2) and maternal permanent environmental variance as part of phenotypic variance (c^2), obtained with models M4363 (Δ) and M4364 ($\bullet$).

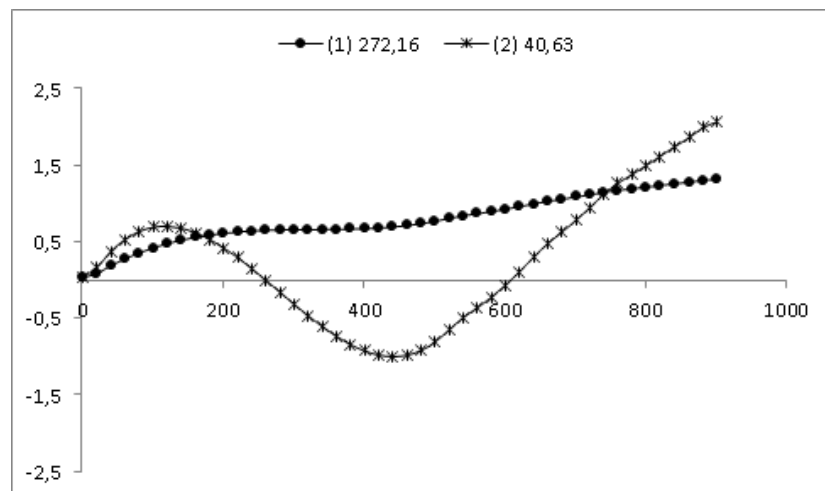


Figure 3. Eigenfunctions of the additive genetic covariance matrix and their respective eigenvalues (272.16 and 40.63) obtained with model M4363.

Este capítulo se escribió y publicó bajo las normas de la revista **FACULTAD NACIONAL DE AGRONOMIA-MEDELLÍN**.

CAPÍTULO 6. Parámetros genéticos para características reproductivas en una población de búfalos (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae) en el Magdalena Medio Colombiano

Genetic parameters for reproductive traits in a population of buffaloes (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae) in the Middle Magdalena region of Colombia

Diana María Bolívar V¹; Edison Julián Ramírez T²; Divier Antonio Agudelo G³; Roberto A. Angulo⁴; Mario Fernando Cerón Muñoz⁵

Resumen

Para las características reproductivas, excepto edad al primer parto, los valores de heredabilidad son, generalmente, cercanos a cero (Tonhati H, Vasconcellos F. y Albuquerque G., 2000). Sin embargo, se han reportado heredabilidades entre 0.04 y 0.34 para intervalo entre partos, sugiriendo que esta característica, para algunas poblaciones, puede responder a programas de selección. Tener en cuenta características reproductivas en los programas de mejoramiento genético es de gran importancia ya que están relacionadas con la ganancia genética entre generaciones (Cassiano Pinheiro *et al.*, 2004). El objetivo de este trabajo fue estimar los

¹Profesora Asistente. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Estudiante de Doctorado en Ciencias Animales, Universidad de Antioquia – Fundación Universitaria San Martín (FUSAM). A.A. 1779. Medellín, Colombia, dmboliva@unal.edu.co

² Estudiante de Maestría en Ciencias Animales, Universidad de Antioquia– Fundación Universitaria San Martín (FUSAM), edjurato@agronica.udea.edu.co

³ Profesor. Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias, Corporación Universitaria Lasallista, Caldas, Antioquia, diagudelo@lasallista.edu.co

⁴ Asesor técnico de Empresas bufaleras del Magdalena Medio, ranguilo@agronica.udea.edu.co

⁵ Profesor. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia. AA 1226, mceronm@agronica.udea.edu.co

componentes de (co)varianza y parámetros genéticos para edad al primer parto (EPP) e intervalo entre partos (IEP) en una población bufalina en el Magdalena Medio Colombiano. Las características evaluadas fueron EPP, IEP entre primer y segundo parto (IEP_{1-2}), IEP entre segundo y tercer parto (IEP_{2-3}), e IEP entre tercer y cuarto parto (IEP_{3-4}) en un modelo animal multicaracterístico. El IEP con todos los partos (IEP_{total}) fue analizado en un modelo animal unicaracterístico. Las estimativas de los componentes de varianza fueron obtenidos por el método de máxima verosimilitud restringida libre de derivadas. Las heredabilidades encontradas fueron 0.42, 0.11, 0.07, 0.31 y 0.05 ± 0.061 para EPP, IEP_{1-2} , IEP_{2-3} , IEP_{3-4} y IEP_{total} , respectivamente. La heredabilidad encontrada para EPP, sugiere que la selección por esta característica es factible en esta población. La heredabilidad para IEP_{total} indica que esta característica está muy influenciada por factores ambientales y genéticos no aditivos. Las correlaciones genéticas entre los diferentes IEP fueron altas y positivas. Las correlaciones genéticas entre EPP y los IEP variaron ampliamente.

Palabras clave: componentes de (co)varianza, correlaciones genéticas, heredabilidad

Abstract

For reproductive traits, except age at first calving, the heritability values are usually close to zero. (Tonhati H, Vasconcellos F. y Albuquerque G., 2000). However, heritabilities have been reported between 0.04 and 0.34 for calving interval, suggesting that this trait, for some populations, may respond to selection programs. The importance of reproductive traits in breeding programs is related to the genetic gain among generations (Cassiano Pinheiro *et al.*, 2004). The aim of this study was to estimate (co)variance components and genetic parameters for age at first calving (AFC) and calving interval (CI) in a population of buffaloes located in Middle Magdalena region of Colombia. The traits evaluated were AFC, CI between first and second calving (CI_{1-2}), CI between second and third calving (CI_{2-3}) and CI between third and fourth calving (CI_{3-4}), using animal model multitrait. A single-trait animal model was used for IEP considering all calving (CI_{total}). Estimative of (co)variance components were obtained by the method of derivative free restricted maximum likelihood. Estimates of heritability were 0.42, 0.11, 0.07, 0.31, and 0.05 ± 0.061 for AFC, CI_{1-2} , CI_{2-3} , CI_{3-4} , and CI_{total} , respectively. The heritability found for AFC, suggest that selection for these traits is feasible in this population. The

heritability for CI_{total} indicates that this trait is strongly influenced by environmental and non-additives genetic factors. Genetic correlations between different IEP were high and positive. Genetic correlations between AFC and the IEP varied widely.

Key words: (co)variance components, genetic correlations heritability

Introducción

El búfalo (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae) se ha convertido en una alternativa para la producción de carne y leche en el trópico bajo colombiano, debido a su excelente adaptación a las condiciones climáticas y a la capacidad que tiene la especie de aprovechar con mayor eficiencia las pasturas de baja calidad (Angulo R *et al.*, 2002; Rodas Gonzalez *et al.*, 2001). Además, en el país existen grandes extensiones de tierras inundables en las que el ganado vacuno no produce eficientemente, mientras que el búfalo de agua presenta una excelente adaptación a estas condiciones (Oliveira Liguori, Velloso L. y Schalech E., 1991; Gutiérrez, 2001). Sin embargo, el poco conocimiento de los parámetros productivos y genéticos ha limitado implementar programas de mejora genética que permitan aumentar su productividad (Agudelo Gomez *et al.*, 2007).

Se ha considerado que las características reproductivas son de baja heredabilidad (Valle y Moura Duarte, 1986; Tonhati H, Vasconcellos F. y Albuquerque G., 2000; Cassiano Pinheiro *et al.*, 2004), indicando que la forma de mejorarlas es ofreciendo mejores condiciones ambientales (nutricionales, sanitarias y de manejo). Sin embargo, se han reportado heredabilidades entre 0.04 y 0.34 para el intervalo entre partos y entre 0.16 y 0.62 para peso al primer parto (Carrero Pulido, 2000; Penchev P, 1998), sugiriendo que estas características, para algunas poblaciones, pueden responder a programas de selección. La importancia de las características reproductivas en programas de mejoramiento genético, está relacionada principalmente con la ganancia genética entre generaciones. Menores edades al primer parto permiten la reducción del intervalo generacional, mientras que menores períodos de servicio y menores intervalos entre partos, permiten mayor disponibilidad de hembras de alto potencial genético que pueden reemplazar las que son descartadas (Cassiano Pinheiro *et al.*, 2004).

Según Da Silveira Jânio *et al.* (2001), el conocimiento de los parámetros genéticos se necesita para la estimación de valores de cría, la combinación de características en índices de selección, para la optimización del esquema de selección, así como para la predicción de la ganancia genética. El conocimiento de estos parámetros para cada una de las características de importancia económica es necesario, ya que son esenciales para la planificación, ejecución y evaluación de programas de mejoramiento genético (Tonhati H, Vasconcellos F. y Albuquerque G., 2000). A pesar de su relevancia, pocos son los estudios sobre los parámetros genéticos y ambientales que afectan la eficiencia reproductiva de los búfalos.

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este trabajo fue estimar los componentes de (co)varianza y parámetros genéticos para edad al primer parto e intervalo entre partos en una población bufalina en el Magdalena Medio Colombiano.

Materiales y Métodos

En el presente trabajo se utilizaron los registros productivos de la Empresa Ceilán, conformada por tres fincas (Ceilán, El Cortijo y Riomanso), localizadas en la zona del Magdalena Medio Colombiano, en una zona de vida clasificada como bosque seco tropical (altura sobre el nivel del mar: 190 m; temperatura: 28.4 °C; precipitación: 1900 mm/año), según Holdrige L (1996). Esta zona se caracteriza por presentar dos épocas secas, la primera en los meses de enero, febrero y marzo y la segunda durante los meses de julio, agosto y septiembre. La época lluviosa está comprendida entre los meses de abril y junio y entre octubre y diciembre. En las tres explotaciones se cuenta con animales mestizos de las líneas Murrah y Mediterráneo, las crías son manejadas bajo un sistema de alimentación a toda leche, en pasturas mejoradas de las especies *Brachiaria sp.*

Las características reproductivas evaluadas fueron edad al primer parto (EPP), intervalo entre parto (IEP) entre primer y segundo parto (IEP_{1-2}), IEP entre segundo y tercer parto (IEP_{2-3}), e IEP entre tercer y cuarto parto (IEP_{3-4}) en un modelo animal multicaracterístico. También se analizó el IEP teniendo en cuenta todos los partos (IEP_{total}) en un modelo animal unicaracterístico. Las estimativas de componentes de varianzas y heredabilidades fueron obtenidas por modelo animal a

través del programa Multi Trait Derivative Free Restricted Máximo Likelihood (MTDFREML), desarrollado por Boldman K. *et al.* (1995).

Para EPP se utilizaron registros entre los años 1998 y 2005, con 1265 individuos en el pedigree y 692 registros de EPP. Para esta característica se incluyeron como efectos fijos finca, año y mes de nacimiento. Los efectos aleatorios fueron el genético aditivo directo y el residuo.

Para los IEP, se tuvieron en cuenta 1265 individuos en el pedigree. El número de registros fueron 631, 435 y 216 entre los años 2001-2005, 2002-2006 y 2003-2005, para IEP₁₋₂, IEP₂₋₃, e IEP₃₋₄, respectivamente. Para estas características se incluyeron como efectos fijos finca, sexo de la cría, año y mes de parto. Los efectos aleatorios incluidos fueron el genético aditivo directo y el residuo. En términos matriciales el modelo animal utilizado fue el siguiente:

$$y_i = X_i b_i + Z_1 a_i + e_i$$

Donde: y_i = vector de observaciones para cada la i característica (EPP, IEP₁₋₂, IEP₂₋₃, IEP₃₋₄); X_i = matriz de incidencia relacionada a los efectos fijos b_i ; b_i = vector de efectos fijos para cada característica, EPP (finca, año y mes de nacimiento), IEP₁₋₂, IEP₂₋₃, IEP₃₋₄ (finca, sexo de la cría, año y mes de parto); Z_1 = matriz de incidencia relacionada a los efectos aleatorios genéticos aditivos a_i de cada animal para las características i (EPP, IEP₁₋₂, IEP₂₋₃, IEP₃₋₄); a_i = vector de efectos aleatorios genéticos aditivos directos de los animales; e_i = vector de efectos residuales aleatorios de las características i .

Para estimar las correlaciones fenotípicas entre las diferentes características, se utilizó la siguiente ecuación (Falconer Scott y Mackay F., 2001):

$$rp_{1,2} = \left(rg_{1,2} \times \sqrt{h_1^2} \times \sqrt{h_2^2} \right) + \left(ra_{1,2} \times \sqrt{1 - h_1^2} \times \sqrt{1 - h_2^2} \right)$$

Donde: $rp_{1,2}$ = Correlación fenotípica entre las características 1 y 2; $rg_{1,2}$ = Correlación genética entre las características 1 y 2; $ra_{1,2}$ = Correlación ambiental entre las características 1 y 2; h_1^2 = heredabilidad de la característica 1; h_2^2 = heredabilidad de la característica 2.

Para IEP_{total}, se utilizaron registros entre los años 2002 y 2007, con 1265 individuos en el pedigree y 1361 registros de IEP. El modelo incluyó como efectos fijos: finca, sexo de la cría, número de parto (1-5 partos), año y mes de parto. Los efectos aleatorios fueron: genético aditivo

directo, efecto de ambiente permanente de la búfala y error. En términos matriciales el modelo animal utilizado fue el siguiente:

$$y = Xb + Z_1a + Z_2p + e$$

Donde: y = vector de observaciones para la característica IEP_{total} ; X = matriz de incidencia de los efectos fijos; b = vector de efectos fijos para la característica IEP_{total} (finca, sexo de la cría, número de parto, año y mes de parto); Z_1 = matriz de incidencia del efecto genético aditivo directo de cada animal; a = vector de efectos genéticos aditivos directos aleatorios; Z_2 = matriz de incidencia del efecto de ambiente permanente de la búfala; p = vector de efectos aleatorios de ambiente permanente de la búfala; e = vector de efectos residuales aleatorios.

La repetibilidad para IEP_{total} , fue estimada como $r = \frac{(\sigma_a^2 + \sigma_p^2)}{(\sigma_a^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2)}$, donde σ_a^2 , σ_p^2 y σ_e^2 corresponden a las varianzas genética aditiva, de ambiente permanente y residual, respectivamente (Falconer Scott y Mackay F., 2001).

Resultados y Discusión

En la tabla 1 se presenta el número de registros, la media fenotípica, desviación estándar y coeficientes de variación, para cada una de las características analizadas en esta población de búfalos. En promedio las búfalas presentaron el primer parto a una edad temprana (1140 ± 283.5 días), siendo de gran importancia ya que cuanto más precoz sea el animal, más podrá producir durante su vida reproductiva (Tapia Román, Muñoz Vilches y Molina Alcalá, 1995). La edad y peso al primer parto varían conforme al manejo adoptado, siendo el manejo nutricional uno de los más importantes (Martínez Villate, Martínez Correal y Manrique Perdomo, 2009). En las tres explotaciones evaluadas las crías son manejadas bajo un sistema de alimentación a toda leche y en pasturas mejoradas, lo que puede explicar la EPP encontrada, sin embargo se observó una alta heterogeneidad (CV: 25%), con valores entre 700 y 1992 días.

La edad al primer parto de la población bajo estudio, se encontró dentro del rango reportado por diferentes autores en Brasil. Tonhati H, Vasconcellos F. y Albuquerque G. (2000) y Sampaio Neto *et al.* (2001) reportaron 1170 ± 195 y 1133 ± 167 días en búfalas Murrah, respectivamente, mientras que Rodrigues C. *et al.* (2008), encontraron una EPP de 1291 ± 235 días, en Búfalos

mestizos. Cassiano Pinheiro *et al.* (2003), reportaron una media de 1088 ± 76 días en las razas Carabao, Jafarabadi, Murrah e Mediterráneo.

Se encontró un IEP_{total} de 463 ± 104 días, el cual se aleja del valor ideal de 365 días. Sin embargo, al analizar IEP_{1-2} , IEP_{2-3} , e IEP_{3-4} , se puede observar como disminuye el IEP y la heterogeneidad de los valores (menor CV), a medida que incrementa el número de parto. El mayor IEP entre el primer y segundo parto se debe que los animales aún se encuentran en estado de crecimiento, siendo mayores los requerimientos nutricionales, por lo tanto más vulnerables al estrés nutricional (Pino Pérez, Guerra Iglesias y González Peña, 2009).

El intervalo entre partos encontrado es similar a los reportados en Brasil; 431 ± 100 días en la raza Murrah (Sampaio Neto *et al.*, 2001); 451 ± 139 días en búfalos mestizos (Rodrigues C. *et al.*, 2008) y 380 ± 31 días en las razas Carabao, Jafarabadi, Murrah y Mediterraneo (Cassiano Pinheiro *et al.*, 2003). El primer intervalo entre partos es similar al reportado por Cassiano Pinheiro *et al.*, 2003 (501 ± 219 días).

Los componentes de varianza y los parámetros genéticos para EPP e intervalo entre partos (total y por parto), se presentan en la Tabla 2. Para EPP la heredabilidad estimada fue de 0.42, indicando la existencia de variabilidad genética aditiva, por lo tanto cambios genéticos para esta característica es posible seleccionando los animales con menores edades al primer parto. Estos resultados sugieren que la selección de los individuos más precoces puede ser efectiva y contribuir a decrecer el intervalo generacional y, por consiguiente, la ganancia genética entre generaciones será mayor. No obstante debe complementarse con el mejoramiento de las condiciones ambientales para obtener mejores resultados.

La heredabilidad estimada para esta característica está dentro del rango reportado por diferentes autores. Cassiano Pinheiro *et al.* (2004) en la Amazonía Brasileira, reportaron heredabilidades de 0.12, 0.38, 0.12 y 0.24 para las razas Carabao, Jafarabadi, Mediterraneo y Murrah, respectivamente. En Brasil, Tonhati H, Vasconcellos F. y Albuquerque G. (2000), reportaron una heredabilidad de 0.2 en un hato Murrah y Marques, F (1991) de 0.25. Penchev, P (1998), reportó una heredabilidad superior para la raza Murrah en Bulgaria (0.62). En búfalos de las razas Murrah, Nili-Ravi, Egípcia, Pandharpuri, Surti y Bhadawar, Taneja K (1999), reportó heredabilidades entre 0.26 y 0.37. Debido a los diferentes métodos, poblaciones, estaciones y

regiones, los valores de heredabilidad varían considerablemente. Sin embargo, al considerar los valores medios, se puede afirmar que existe una variación genética entre individuos aceptable para poder aplicar métodos de selección (Tonhati H, Vasconcellos F. y Albuquerque G., 2000).

Las heredabilidades estimadas para IEP_{1-2} e IEP_{2-3} fueron bajas (0.11 y 0.07, respectivamente), mientras que IEP_{3-4} presentó un valor medio (0.31). Estos resultados indican que las búfalas jóvenes son más afectadas por factores ambientales, siendo el nutricional uno de los más importantes. Posiblemente estas búfalas aún están en crecimiento, por lo tanto sus requerimientos pueden ser mayores. Por otro lado, es importante tener en cuenta que las búfalas presentan una marcada estacionalidad en los partos, aspecto que puede estar incidiendo en los parámetros encontrados.

Los resultados de este trabajo coinciden con los reportados por Cassiano Pinheiro *et al.*, 2004, quienes estimaron una heredabilidad para IEP_{1-2} muy semejantes para las diferentes razas estudiadas (0.04, 0.05, 0.04 y 0.04 para las razas Carabao, Jafarabadi, Mediterráneo y Murrah, respectivamente), características extremadamente influenciada por el ambiente.

La heredabilidad encontrada para IEP total fue baja (0.05), siendo similar a la reportada por Amorim Ramos *et al.*, 2006 (0.02) en búfalos de la raza Murrah en Brasil; por Aziz M. *et al.*, 2001 (0.07) en búfalos egipcios y por Cassiano Pinheiro *et al.*, 2004 (0.00) para las razas Carabao, Jafarabadi y Mediterráneo. Valores superiores de heredabilidad han sido reportados por Tonhati H, Vasconcellos F. y Albuquerque G., 2000 (0.10) para un hato Murrah en Brasil; por Marques F, 1991 (0.1) en búfalos brasileiros; por Penchev P, 1998 (0.16) en una población de búfalos Murrah en Bulgaria; por Mahdy A., El-Chafie O. y Ayyat M., 1999 (0.17) en búfalos egipcios y por Cassiano Pinheiro *et al.*, 2004 (0.26) en búfalos de la raza Murrah en Brasil.

La baja heredabilidad estimada para IEP está de acuerdo con la mayoría de los valores presentados en trabajos publicados en países de clima tropical y templado (Italia, Brasil, Egipto e India). Esta característica es muy influenciada por factores ambientales y genéticos no aditivos. Entre las justificaciones para esos bajos valores, los autores citan el efecto de la selección natural (Cassiano Pinheiro *et al.*, 2004).

Otro aspecto importante a tener en cuenta, es que las estimativas de heredabilidad del IEP son obtenidas con datos de campo, los cuales están sujetos a interferencia por el criador; por ejemplo, las medidas de intervalo entre partos, generalmente, no incluyen búfalas descartadas por baja producción o por problemas reproductivos, factor que proporciona una disminución de la varianza genética aditiva (Amorim Ramos *et al.*, 2006).

La heredabilidad estimada para IEP_{total} (0.05), indica que la variación genética entre individuos es prácticamente nula, pues apenas el 5% de los factores que influyen esta característica son de orden genético. Las diferencias individuales con respecto a esta característica podrían reducirse mediante prácticas de manejo. Mahdy A., El-Chafie O. y Ayyat M. (1999), también verificaron que la mejora en el manejo es la solución económicamente viable para obtener mejores intervalos entre partos en esta especie.

El efecto de ambiente permanente (c^2) encontrado (0.053), está dentro del rango reportado por Cassiano Pinheiro *et al.*, 2004 (0.02, 0.458, 0.02 y 0.15), para las razas Carabao, Jafarabadi, Mediterráneo y Murrah, respectivamente. Estos valores muestran que la mejora del medio ambiente influye en la productividad de los hatos.

La repetibilidad estimada para el IEP en el presente estudio fue de 0.11, valor similar al reportado por Aziz M. *et al.*, 2001 (0.14) en búfalos egipcios y superior al obtenido por Amorim Ramos *et al.*, 2006 (0.06) en búfalos de la raza Murrah en Brasil. Tonhati H, Vasconcellos F. y Albuquerque G., 2000, encontraron una repetibilidad de 0.20 para un hato Murrah en Brasil.

El valor estimado de repetibilidad para IEP, sugiere que la selección basada en los resultados anteriores debe ser prudente, ya que sólo el 11% de las diferencias fenotípicas entre las búfalas son dependientes de factores permanentes. Posiblemente, el manejo reproductivo, nutricional y las condiciones sanitarias, tienen gran influencia sobre esta característica.

Los valores obtenidos de varianzas genéticas, al igual que las covarianzas genéticas y ambientales entre el intervalo entre partos (IEP_{1-2} , IEP_{2-3} , IEP_{3-4}) y la EPP, pueden ser observados en la tabla 3. Las correlaciones genéticas altas y positivas entre los diferentes intervalos entre

partos, indica la posibilidad de mejorar una característica como respuesta a la selección de otra. En este caso se podría reducir el IEP_{1-2} y el IEP_{2-3} , por medio de la selección para el IEP_{3-4} , característica que presentó una heredabilidad media, por lo tanto puede responder a la selección (Tabla 4).

Las correlaciones genéticas entre EPP y los diferentes IEP variaron ampliamente (Tabla 4). Mientras la correlación entre IEP_{1-2} y EPP fue baja (0.07), las correlaciones entre IEP_{2-3} y EPP y entre IEP_{3-4} con EPP fueron -0.46 y 0.31, respectivamente. La correlación entre EPP y IEP_{2-3} indica antagonismo entre características productivas y reproductivas, mientras la correlación entre EPP y IEP_{3-4} indica lo contrario. Teniendo en cuenta el bajo valor de heredabilidad encontrado para IEP_{2-3} (0.07) y el alto valor para EPP (0.42) y la correlación negativa, se espera que al realizar selección por EPP (seleccionando animales que lleguen con menor edad al primer parto), se obtendrán IEP_{2-3} más largos. Al seleccionar animales por EPP, no se afectará el IEP_{1-2} , dada su baja correlación genética.

Las correlaciones genéticas entre IEP y EPP reportadas por diferentes autores, varían ampliamente, dependiendo de las poblaciones y razas estudiadas. Cassiano Pinheiro *et al.*, 2004 en Brasil, encontraron unas correlaciones de -0.11, -0.56, 0.00 y 1.00 para las razas Carabao, Mediterraneo, Murrah y Jaffarabadi, respectivamente. Estos mismos autores cuando las correlaciones fueron calculadas entre EPP y IEP_{1-2} , las estimativas encontradas fueron de 0.08, -0.89, -1.00 y -0.82. Tonhati H, Vasconcellos F. y Albuquerque G. (2000), reportaron una correlación genética entre IEP y EPP de -0.22 en búfalas Murrah en Brasil, indicando que la selección de animales con IEP cortos, puede resultar en un incremento de la edad al primer parto.

Con respecto a las correlaciones fenotípicas, se encontraron valores bajos entre los diferentes IEP (Tabla 4). Así mismo, las correlaciones ambientales fueron bajas (0.03 entre IEP_{1-2} y IEP_{2-3} ; -0.06 entre IEP_{1-2} y IEP_{3-4} y 0.20 entre IEP_{2-3} y IEP_{3-4}). Para EPP y IEP en cada parto, las correlaciones fenotípicas fueron bajas (Tabla 4), al igual que las correlaciones ambientales (-0.11, -0.12 y -0.14 entre EPP y IEP_{1-2} , IEP_{2-3} y IEP_{3-4} , respectivamente). Estos resultados indican que estas características no son influenciadas por los mismos factores ambientales y genéticos no aditivos, siendo fenotípicamente independientes.

Conclusiones

La heredabilidad estimada para EPP, sugiere que la selección por esta característica es factible en esta población. Por el contrario, la heredabilidad para IEP_{total} fue muy baja, indicando que esta característica está muy influenciada por factores ambientales y genéticos no aditivos, además de una variación genética entre individuos prácticamente nula.

El valor estimado de repetibilidad para IEP, sugiere que la selección basada en los resultados anteriores debe ser prudente, ya que un bajo porcentaje de las diferencias fenotípicas entre las búfalas son dependientes de factores permanentes.

La heredabilidad encontrada para IEP_{1-2} y IEP_{2-3} fueron bajas, mientras que IEP_{3-4} presentó un valor medio. Estos resultados indican que las búfalas jóvenes son más afectadas por factores ambientales y de manejo.

Las correlaciones genéticas altas y positivas entre los diferentes intervalos entre partos, indica la posibilidad de mejorar una característica como respuesta a la selección de otra. En este caso se podría reducir el IEP_{1-2} y el IEP_{2-3} , por medio de la selección para el IEP_{3-4} . Las correlaciones genéticas entre EPP y los diferentes IEP variaron ampliamente. Mientras la correlación entre EPP y IEP_{2-3} indica antagonismo entre características productivas y reproductivas, la correlación entre EPP y IEP_{3-4} indica lo contrario.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) por la financiación del proyecto “Evaluaciones genéticas para búfalos colombianos tipo carne” el cual hace parte del programa “Mejoramiento genético en búfalos colombianos tipo carne”. Igualmente agradecen a la Empresa Ceilan, por facilitar la base de datos para la realización de este trabajo.

Bibliografía

Agudelo, G. D., M. M. F. Cerón y L. A. Hurtado. 2007. El búfalo como animal productor de carne: producción y mejoramiento genético. Revista Lasallista de investigación. 4 (2): 43 -49.

Angulo, R. A., J. F. Ramírez, N. A. Hurtado, L. F. Restrepo, C. A. Montoya, M. Bedoya and J. A. Berdugo. 2002. Comparative analysis of the quality of cattle and bufaline carcass marketed in the

city of Medellín - Colombia. In: Proceedings First Symposium Buffalo of Americas. Belem-Para, Brasil. p. 532-534.

Amorim, R. A., C. H. Mendes, P. L. Souza, H. C. Gonçalves e D. M. Malhado. 2006. Caracterização fenotípica e genética da produção de leite e do intervalo entre partos em bubalinos da raça Murrah. *Pesq. agropec. Bras*, Brasília 41(8): 1261-1267.

Aziz, M., S. Schoeman, G. Jordaan, O. El-Chafie y A. Mahdy. 2001. Genetic and phenotypic variation of some reproductive traits in Egyptian buffalo. *South African Journal of Animal Science* 31(3): 195-199.

Boldman, K. G., L. A. Kriese, L. D. Van Vleck, C. P. Van Tassel and S. D. A. Kachman. 1995. Manual for use of MTDFREML. A set of programs to obtain estimates of variances and covariances (DRAFT). U.S. Departament of Agriculture, Agriculture Research Service, Lincoln, NE, 120 pp

Carrero, P. J.C. 2000. El búfalo asiático: un recurso inexplorado para producir proteína animal. Venezuela: Ed. Lito formas. 210 p.

Cassiano, L. A. P., A. S. Mariante, C. McManus, J. R. F. Marques e N. A. 2003. Caracterização fenotípica de raças bubalinas nacionais e do tipo Baio. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília. 38(11): 1337-1342.

Cassiano, L. A. P., A. S. Mariante, C. McManus, J. R. F. Marques e N. A. Costa. 2004. Parâmetros genéticos das características produtivas e reprodutivas de búfalos na Amazônia brasileira. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília 39 (5): 451-457.

Da Silveira, J. C., C. McManus, A. M. dos Santos, L. O. C da Silva, A. C- da Silveira, J. A. G. Soares, H. Louvandini. 2004. Fatores Ambientais e Parâmetros Genéticos para Características Produtivas e Reprodutivas em um Rebanho Nelore no Estado do Mato Grosso do Sul. *R. Bras. Zootec.* 33 (6): 1432-1444.

Falconer, D. S. and T. F. Mackay. 2001 *Introducción a la genética cuantitativa*. Editorial Acribia. 494 p

Gutiérrez, Mariano. 2001. Buffalo production perspectives in Colombia. In: Proceedings VI World Buffalo Congress: an alternative for animal agriculture in the third millenium. Maracaibo, Venezuela. 677-697 p.

Holdridge, L. 1996. Ecología basada en Zonas de Vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, IICA. San José de Costa Rica. 225 p.

Mahdy, A., O. El-Chafie y M. Ayyat. 1999. Genetic study and sire values for some economic traits in Egyptian buffaloes. Alexandria Journal of Agricultural Research 44(2): 15-35.

Marques, J. R. F. 1991. Avaliação genético-quantitativa de alguns grupamentos raciais de bubalinos (*Bubalus bubalis*, L). Tese (Doutorado). Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, San Paulo. 134 p.

Martínez V G. C., C. G Martínez, C. P. Manrique. 2009. Estimación de parámetros genéticos de edad al primer parto e intervalo entre partos de vacas criollas Sanmartineras (SM). Orinoquia. 13(2): 113-125.

Oliveira, A. L., L. Velloso and E. Schalech. 1991. Carcass characteristics and yield of zebu steers compared with water buffalo. In: World Buffalo Congress, 3. Varna: The Word Buffalo Congress. 1019-1026 p.

Penchev, P. 1998. Phenotypic and genotypic evaluation of the buffalo population bred in Bulgaria. Bulgarian Journal of Agricultural. Science. 4(4): 463-469.

Pino, P. M., I., I. D. Guerra y P. D. González. 2009. Parámetros genéticos del crecimiento y la reproducción en ganado cebú. Rev. Med. Vet 17: 77-84.

Rodas, G. A., N. Huerta, A. Vidal, R. Rodriguez y O. Colina. 2001. Rendimiento carnicero de búfalos vs. Vacunos acebuados producidos a sabanas y sacrificados serialmente a cuatro edades contemporáneas in Proc. VI World Buffalo Congress, Maracaibo, Venezuela. 65 p.

- Rodrigues, A. L. C., B. S. P. Barbosa, P. R. G. de Araújo, K. R. Santoro, A. V. De Lira. 2008. Eficiência reprodutiva e influência de fatores de meio e de herança sobre a variação no peso ao nascer de bubalinos no estado de Rondônia. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 37 (9): 1595-1600.
- Román, T. N., V. N. P Muñoz y A. A. Molina. 1995. Factores que afectan a la edad al primer parto en el ganado vacuno de raza Retinta. *Arch. Zootec*. 44 (166 y 167): 215-223
- Sampaio, N. J. C., F. R. Martins, L. R. N. Braga e H. Tonhati. 2001. Avaliação dos Desempenhos Produtivo e Reprodutivo de um Rebanho Bubalino no Estado do Ceará. *Revista brasileira de zootecnia*. 30(2): 368-373.
- Taneja, V. K. 1999. Dairy breeds and selection. In: Falvey, L.; Chantalakhana, C. (Ed.). *Smallholder dairying in the Tropics*. Nairobi: International Livestock Research Institute. 462 p.
- Tonhati, H., F. B. Vasconcellos and L. G. Albuquerque. 2000. Genetic aspects of productive and reproductive traits in a Murrah buffalo herd in Sao Paulo, Brazil. *J Journal of Animal Breeding and Genetics*. 117: 331–336.
- Valle, A y D. F. A. Moura. 1986. Herencia de los principales parámetros productivos y reproductivos en vacas mestizas (5/8 pardo suizo - 3/8 criollo) tipo Carora. *Zootecnia Tropical*. 4(1 y 2): 49-65.

Tabla 1. Análisis descriptivo para las características reproductivas edad al primer parto e intervalo entre partos, en una población de búfalos en el Magdalena Medio Colombiano

Característica	No. de registros	Media (días)	CV
EPP	692	1140 ± 283.5	25.0
IEP_{total}	1361	462.7 ± 104.3	22.5
IEP₁₋₂	631	504.8 ± 121.1	24.0
IEP₂₋₃	435	435.3 ± 78.65	18.1
IEP₃₋₄	216	398.0 ± 57.65	14.5

EPP= Edad al primer parto, IEP₁₋₂=Intervalo entre partos entre el primero y segundo parto, IEP₂₋₃= Intervalo entre partos entre el segundo y tercer parto, IEP₃₋₄= Intervalo entre partos entre el tercer y cuarto parto; IEP_{total}=Intervalo entre partos considerando todos los partos, CV=Coeficiente de variación

Tabla 2. Componentes de varianza y parámetros genéticos para intervalo entre partos total y estratificado por número de parto en búfalos en el Magdalena Medio Colombiano

Componentes de Varianza					Parámetros genéticos		
Variable	σ^2_a	σ^2_{pe}	σ^2_e	σ^2_f	h^2_a	c^2	e^2
EPP	14566	—	20123	34689	0.42	—	0.58
IEP₁₋₂	1508	—	12324	13831	0.11	—	0.89
IEP₂₋₃	406	—	5068	5475	0.07	—	0.93
IEP₃₋₄	748	—	1686	2434	0.31	—	0.69
IEP_{total}	384.7	391.3	6543.2	7319.2	0.05 ± 0.061	0.053 ± 0.071	0.89 ± 0.042

σ^2_a =varianza genética directa; σ^2_{pe} =varianza de ambiente permanente; σ^2_e =varianza residual; σ^2_f = varianza fenotípica; h^2_a =heredabilidad directa; c^2 : contribución del ambiente permanente para la varianza fenotípica; e^2 : fracción del error residual; EPP= Edad al primer parto, IEP₁₋₂=Intervalo entre partos entre el primero y segundo parto, IEP₂₋₃= Intervalo entre partos entre el segundo y tercer parto, IEP₃₋₄= Intervalo entre partos entre el tercer y cuarto parto; IEP_{total}=Intervalo entre partos considerando todos los partos.

Tabla 3. Varianzas genéticas (en la diagonal), covarianzas genéticas (debajo de la diagonal) y ambientales (encima de la diagonal) entre intervalo entre partos y edad al primer parto en búfalas en el Magdalena Medio Colombiano

Característica	IEP₁₋₂	IEP₂₋₃	IEP₃₋₄	EPP
IEP₁₋₂	1507.5	240.6	-290.1	-1724.1
IEP₂₋₃	668.4	406.4	591.8	1208.1
IEP₃₋₄	1031.7	389.7	748.3	-812.9
EPP	342.5	-1110.1	1014.3	14566.5

IEP₁₋₂=Intervalo entre partos entre el primero y segundo parto, *IEP₂₋₃*= Intervalo entre partos entre el segundo y tercer parto, *IEP₃₋₄*= Intervalo entre partos entre el tercer y cuarto parto, *EPP*=edad al primer parto.

Tabla 4. Correlaciones genéticas (debajo de la diagonal) y fenotípicas (encima de la diagonal) entre intervalo entre partos y edad al primer parto en búfalas en el Magdalena Medio Colombiano

Característica	IEP₁₋₂	IEP₂₋₃	IEP₃₋₄	EPP
IEP₁₋₂	-	0.10	0.13	-0.06
IEP₂₋₃	0.85	-	0.26	-0.17
IEP₃₋₄	0.97	0.71	-	0.02
EPP	0.07	-0.46	0.31	-

IEP₁₋₂=Intervalo entre partos entre el primero y segundo parto, *IEP₂₋₃*= Intervalo entre partos entre el segundo y tercer parto, *IEP₃₋₄*= Intervalo entre partos entre el tercer y cuarto parto, *EPP*=edad al primer parto. Valores entre paréntesis= nivel de significancia.

Este capítulo se escribió bajo las normas de la revista **JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE**. Falta traducirlo al inglés para enviarlo a la revista.

CAPÍTULO 7. Características de eficiencia alimenticia y relaciones con el desempeño productivo de búfalos (*Bubalus bubalis* Artiodactyla, Bovidae) en crecimiento

RESUMEN

Se evaluaron características de eficiencia alimenticia y sus relaciones con el desempeño productivo en búfalos. Datos de crecimiento, consumo y ultrasonido fueron tomados en 106 animales y digestibilidad de nutrientes (DN) en 78 de ellos, durante cuatro pruebas desarrolladas para búfalos provenientes de sistemas doble propósito (DP) y de cría sin ordeño (CSO). El consumo residual de alimento (CRA) fue computado como el consumo de materia seca (CMS) observado menos CMS esperado. Los búfalos se clasificaron en tres grupos de CRA: alto (CRA mayor que 0.12 kg de MS/d), bajo (CRA menor que -0.12 kg de MS/d) y medio (CRA entre la media $\pm$ 0.12 kg de MS/d), donde SD = 0.24 kg MS/d. Se utilizó un modelo de efecto fijo para analizar las diferencias entre grupos, para características de crecimiento, consumo, DN, medidas de eficiencia y ultrasonido. El modelo incluyó como efectos fijos, el grupo de CRA (excepto cuando la característica fue CRA) y prueba. La edad y peso inicial, fueron incluidas en el modelo como covariables cuando fueron significativas. Adicionalmente, análisis de regresión stepwise fueron desarrollados para evaluar la contribución de las medidas de ultrasonido y DN en la explicación de la variación del CMS. No se observaron diferencias para peso inicial, final, GDP, tasa relativa de crecimiento (TRC), proporción Kleiber (PK) y medidas de ultrasonido entre grupos de CRA. Los búfalos con bajo CRA presentaron menor CMS, mayor DN y mejor conversión alimenticia (A:G) que los animales con CRA alto, excepto los búfalos DP donde la

A:G fue similar. El CRA estuvo correlacionado con CMS ($r = 0.53$ en DP; $r = 0.54$ en CSO), A:G en los animales de CSO ($r = 0.57$) y con DN (correlaciones negativas); no presentó correlación con peso, GDP, TRC y PK. En contraste, altas correlaciones fueron encontradas entre GDP y TRC ($r = 0.91$ en DP; $r = 0.72$ en CSO), PK ($r = 0.96$ en DP; $r = 0.83$ en CSO) y A:G ($r = -0.93$ en DP; $r = -0.76$ en CSO). Las variables que más aportaron a la variación del CMS en los búfalos de CSO fueron GDP (65%), PM (11%) y digestibilidad de la materia seca-DMS (6%). Para los animales DP, las variables que más aportaron fueron PM (58%) y DMS (15%), seguidas de la digestibilidad de la fibra en detergente neutro (3.8%) y GDP (3.6%). Las mediciones de ultrasonido no tuvieron impacto significativo sobre la predicción del CMS. Estos resultados indican que el CRA puede ser utilizado para identificar los animales más eficientes, sin alterar el crecimiento de los animales.

Palabras clave: consumo residual de alimento, digestibilidad de nutrientes, ganado de carne, pruebas de desempeño, ultrasonido

INTRODUCCIÓN

El alto costo de la alimentación y el posible impacto ambiental de la producción de carne, implica que la eficiencia en la utilización del alimento sea una característica de importancia económica. Ha sido reportada variabilidad genética para diferentes características relacionadas con la eficiencia alimenticia (Herd et al., 2003; Elzo et al., 2009) y están siendo consideradas en programas de mejoramiento genético (Sobrinho, et al., 2011; Nkrumah et al., 2004).

Muchos índices han sido propuestos y utilizados para determinar la eficiencia energética del ganado. Dentro de estos índices están conversión alimenticia (A:G; Brody, 1945); consumo residual de alimento (CRA; Koch et al., 1963); eficiencia parcial de crecimiento (PEG; Archer et.

al., 1999); tasa relativa de crecimiento (TRC; Fitzhugh and Taylor, 1971) y relación de Kleiber (KR; Kleiber, 1947).

Aunque A:G se ha utilizado ampliamente, este índice está influenciado por la tasa de crecimiento y la composición de la ganancia, por lo tanto, la selección de animales por A:G, puede tener efectos desfavorables en la eficiencia general del sistema de producción (Archer et al., 1999), ya que puede resultar en incrementos sustanciales de consumo de alimento (Dickerson, 1978). Durante la última década, ha sido demostrado que el CRA tiene mayor potencial como índice de eficiencia energética para ganado de carne (Herd y Bishop, 2000; Liu et al., 2000; Arthur et al., 2001a), ya que es independiente de características de crecimiento (Koch et al., 1963), probablemente reflejando más variación en procesos metabólicos básicos (Richardson et al., 2001; Nkrumah et al., 2006) que variación debido a los niveles de producción. No obstante, las investigaciones sobre CRA en ganado de carne, han sido realizadas en vacunos ubicados en zonas templadas.

Según Koch et al. (1963), el consumo de alimento puede ser ajustado por peso metabólico (PM) y ganancia diaria de peso (GDP), donde el residuo puede ser usado para identificar animales con alta eficiencia (CRA negativo) o baja eficiencia (CRA positivo) (Montanholi et al., 2009). Adicionalmente, la ecuación para determinar CRA puede ser utilizada para estudiar el impacto de otras variables, que representan alguno de los procesos metabólicos básicos, sobre la explicación de la variación del consumo de materia seca (CMS), como son las medidas de ultrasonido (Montanholi et al., 2009) y la digestibilidad de nutrientes (DN).

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar características de eficiencia alimenticia y sus relaciones con el desempeño productivo en búfalos en crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental El Progreso, de la Universidad de Antioquia, ubicada en el municipio de Barbosa (Antioquia, Colombia), en una zona de vida de bosque húmedo subtropical (altura sobre el nivel del mar: 1300 m, temperatura: 23 °C, precipitación: 1800 mm/año). Los análisis químicos se realizaron en el laboratorio integrado de nutrición animal, bioquímica y de pastos y forrajes de la Universidad de Antioquia. La determinación de fibra en detergente ácido indigerible *in situ* (FDAiis) se llevó a cabo en el Centro de Producción Paysandú de la Universidad Nacional de Colombia, ubicado en una zona de vida de bosque húmedo montano bajo (altura sobre el nivel del mar: 2300 m, temperatura: 16 °C, precipitación: 1800 mm/año).

Animales y dieta

Datos de crecimiento, consumo y ultrasonido, fueron tomados en 106 búfalos. La digestibilidad de nutrientes fue medida en 78 animales. Se realizaron cuatro pruebas de desempeño, dos para búfalos provenientes de CSO (primera: entre julio y octubre de 2009; segunda: agosto y diciembre de 2010), con la participación de 45 animales y dos para búfalos provenientes de sistemas DP (primera: entre diciembre de 2009 y abril de 2010; segunda: febrero y mayo de 2011), con 61 animales. Las pruebas tuvieron una duración de 116 días en promedio, siendo los primeros 28 días de adaptación a las instalaciones y la dieta y 88 días para la colecta de datos.

Los animales fueron manejados bajo confinamiento, en corrales individuales (16 m²). Los corrales tenían piso de cemento, sin cama y parcialmente cubiertos (4 m²), cada uno tenía

comedero y bebedero. La dieta fue pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) fresco a voluntad y dos kilogramos de un concentrado por día. Los ingredientes del concentrado fueron maíz (50%), soya extruida (15%), torta de soya (10%), maíz extruido (10%), mezcla homogénea de maíz extruido y harina de soya (10%), sal mineralizada del 8% de fósforo (2%), carbonato de calcio (1%) y 2% de una premezcla de vitaminas y minerales. La composición bromatológica del pasto Maralfalfa y del concentrado se puede observar en la Tabla 1.

Medidas de ultrasonido

Las medidas de ultrasonido fueron realizadas cada 14 días. Se midieron área del músculo *Longissimus dorsi* (AOL) y espesor de la grasa en la cadera (EGC). Para ello se utilizó un ecógrafo Akila-Pro (fabricado por Esaote Europe BV, Maastricht, en Holanda), equipado con un transductor de 3.5-MHz de 18 cm. Las imágenes fueron medidas con el programa Eview (Pie Medical, Maastricht, Holanda). La imagen para medir AOL fue tomada entre la 12 y 13 costilla del animal de forma transversal al músculo dorsal largo y la imagen para medir el EGC se tomó desde la punta de la cadera hacia la región caudal entre las tuberosidades iliaca y e isquiática (Perkins et al. 1992; Realini *et al.* 2001; Jorge et al., 2005).

Medidas de eficiencia

Los animales fueron pesados después de 12 horas de ayuno de alimento. El CMS fue evaluado cada 11 días, durante tres días consecutivos, antes de cada pesaje. Para determinar el CMS durante toda la prueba, se sumaron los consumos obtenidos durante cada período de medición, el cual se obtuvo con el promedio entre la medida actual y la medida siguiente, multiplicado por el número de días del período. Con el CMS total, dividido por el número de días, se obtuvo el CMS por día.

Para determinar los pesos, AOL y EGC iniciales y finales, el peso metabólico en la mitad y al final de prueba y el AOL y la EGC en la mitad de la prueba, de cada animal, se utilizó un modelo lineal mixto de primer y segundo orden, con matrices de varianzas y covarianzas sin estructura (varianzas y covarianzas diferentes entre los parámetros aleatorios), descrito por Littell et al. (2004). A partir de la diferencia entre los valores iniciales y finales de cada característica, dividido por el número de días de la prueba, se obtuvo la ganancia diaria. Los datos de los animales provenientes de los sistemas CSO y DP, se analizaron de manera independiente, debido a que estos ingresaron con una edad y en una época diferente a la prueba. El modelo utilizado fue el siguiente:

$y_{ijk} = (\beta_0 + b_{0i:k}) + (\beta_1 + b_{1i:k}) X_j + \beta_2 X_j^2 + P_k + e_{ij}$, donde, y_{ijk} = característica (peso, AOL y EGC) medida en la j-ésima edad del i-ésimo animal, en la k-ésima prueba; β_0, β_1 y β_2 = intercepto, coeficiente de regresión lineal, y coeficiente de regresión cuadrático promedio para todos los animales; X_j = j-ésima edad; P_k = efecto de la prueba (dos pruebas por sistema de producción) y e_{ij} = error asociado a la variabilidad individual de las observaciones que no se explican en el modelo y que reflejan el hecho de que las curvas pueden ser afectadas por efectos aleatorios no considerados en el modelo, donde $e_{ij} \sim N(0, \sigma_e^2)$; $b_{0i:k}$ y $b_{1i:k}$ = intercepto y coeficiente de regresión lineal del i-ésimo animal que representan una desviación aleatoria de los coeficientes β_0 y β_1 , respectivamente, donde $\begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \end{bmatrix} \sim N\left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, A * \begin{bmatrix} \sigma_{b0}^2 & \sigma_{b01} \\ \sigma_{b10} & \sigma_{b1}^2 \end{bmatrix}\right)$. No se consideró el efecto aleatorio $b_{2i:k}$ del i-ésimo animal debido a que no se obtuvo convergencia.

La conversión alimenticia (A:G) fue calculada como la proporción entre el CMS y el promedio de la GDP. La tasa relativa de crecimiento (TCR) fue calculada por la siguiente

ecuación: $TCR = 100 * \frac{(\log PF - \log PI)}{\text{días de la prueba}}$, donde PF = peso final y PI = peso inicial (Fitzhugh y Tailor, 1971). La proporción Kleiber, fue calculada como la proporción entre el promedio de la GDP y el PM al final de la prueba (Bergh et al., 1992; Arthur et al., 2001a).

El consumo residual de alimento (CRA) fue calculado con una regresión de GDP y peso metabólico en la mitad de la prueba sobre CMS. El CRA para cada animal fue computado como la diferencia entre el CMS observado y el CMS esperado, durante los 88 días de prueba (Koch et al, 1963): $CMS = \beta_0 + \beta_1 (GDP) + \beta_2 (PM) + CRA_{Koch}$.

La digestibilidad aparente de nutrientes (DN) se evaluó durante los últimos cuatro días del período experimental. Se estimó la digestibilidad de la MS (DMS), de la proteína cruda (DPC), de la fibra en detergente neutro (DFDN) y de la fibra en detergente ácido (DFDA). Para ello, el alimento ofrecido y rechazado fue pesado y se les determinó la MS, PB, FDA y FDN para determinar el consumo de cada una de estas fracciones por diferencia. Las muestras del pasto ofrecido se tomaron antes del suministro del alimento. El material rechazado se pesó a las 6:00 a.m. el día siguiente al de medición, tomándose la muestra para los análisis. Las muestras se almacenaron con el fin de obtener una muestra compuesta para efectuar la caracterización bromatológica. La digestibilidad aparente de la MS, PC, FDN y FDA, se estimó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$DN = \frac{\text{Consumo del nutriente} - \text{Nutriente excretado en heces}}{\text{Consumo del nutriente}} * 100\%$$

Para estimar la producción de heces, necesaria para determinar los nutrientes excretados, se utilizó fibra en detergente ácido indigerible (FDA_{in}), como marcador interno (Khan et al.,

2003; Rodríguez et al., 2007; Correa et al., 2009), recuperada en los residuos de una incubación ruminal *in situ* durante 144 horas (Berchielli et al., 2000) de muestras de las heces, del forraje y del suplemento alimenticio (Correa et al., 2009). Se tomaron muestras de heces directamente del recto, durante cuatro días cada seis horas (Correa et al., 2009), para un total de 16 muestras por animal, las cuales se congelaron hasta el final del período de recolección. Posteriormente estas muestras se mezclaron para obtener una sola muestra por cada animal, siendo secada a 60 °C durante 72 horas y conservadas hasta los análisis químicos.

La producción de heces (H) se calculó de la siguiente manera:

$$H = \frac{\text{Consumo de FDA}_{in} * \% \text{ de recuperación de FDA}_{in} \text{ en las heces}}{\% \text{ FDA}_{in} \text{ en heces}}$$

La recuperación de los marcadores internos en heces, en este caso de la (FDA_{in}), es variable (Berchielli et al., 2000). La precisión y exactitud en la estimación de la digestibilidad, depende de su porcentaje de recuperación en las heces (Penning et al., 1983; Zeoula et al., 2002). Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó un experimento inicial, para determinar el porcentaje de recuperación de la (FDA_{in}). Se utilizaron tres búfalos machos enteros de 18 meses edad, con un peso promedio de 350 kg, los cuales estuvieron estabulados. La dieta utilizada fue similar a la suministrada en las pruebas de desempeño.

La recolección total de heces se realizó durante cuatro días consecutivos, mediante el uso de arneses y bolsas para recolección diseñados para este fin, tomando como base los diseños propuestos por Gorski et al. (1957) y Border et al. (1963) (Figura 1). Los animales tuvieron una adaptación previa al equipo (10 días) y a la dieta (30 días) y permanecieron con los arneses todo el período de experimentación y con las bolsas sólo en los días de recolección de las heces. Las bolsas de colección de heces se cambiaron cuatro veces al día. En cada cambio se pesaron las

heces y se homogenizaron individualmente para cada animal. Se sacó una muestra del 10% del peso fresco (aproximadamente) y se almacenaron inmediatamente a temperatura de congelación. Posteriormente estas muestras se mezclaron para obtener una sola muestra por cada animal siendo secada a 60 °C durante 72 horas y conservadas para posteriormente determinar la FDA_{in} .

Simultáneamente se tomaron muestras del pasto y el suplemento que estaban consumiendo los búfalos, las cuales se conservaron bajo refrigeración hasta el final del experimento y posteriormente fueron secadas a 60 °C por 48 h hasta los análisis químicos. Conociendo la cantidad de FDA_{in} consumida y excretada se estimó la recuperación de esta. La tasa de recuperación de la FDA_{in} en las heces se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Recuperación de } FDA_{in} = \frac{\text{g de } FDA_{in} \text{ en la heces}}{\text{g de } FDA_{in} \text{ en el alimento}} \times 100.$$



Figura 1. Búfalo experimental portando el arnés y las bolsas para la recolección total de las heces.

Análisis estadístico

De acuerdo al consumo residual de alimento (CRA_{Koch}), los búfalos fueron clasificados en tres grupos: alto (CRA mayor que la media + 0.5 desviación estándar, menos eficiente), medio ($\pm$

0.5 desviación estándar de la media) y bajo (CRA menor que la media – 0.5 desviación estándar, más eficiente).

Se utilizó un modelo de efecto fijo para analizar las diferencias entre grupos, para características de crecimiento, consumo, digestibilidad de nutrientes, medidas de eficiencia y ultrasonido. Las características fueron analizadas individualmente por el método de máxima verosimilitud restringida (REML), utilizando el procedimiento MIXED de SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC). El modelo incluyó como efectos fijos, el grupo de CRA (alto, medio y bajo), excepto cuando la característica fue CRA y prueba (prueba 1 y 2 para CSO y prueba 1 y 2 para DP). El efecto residual se asumió con media cero y varianza común de σ_e^2 . La edad y peso del animal al inicio de la prueba, fueron incluidas en el modelo como covariables, cuando fueron significativas. Las medias de mínimos cuadrados fueron comparadas utilizando la prueba de Tukey-Kramer.

Para evaluar la contribución de las medidas de ultrasonido y DN en la explicación de la variación en el CMS, análisis de regresión stepwise fueron desarrollados (PROC REG; SAS Inst. Inc., Cary, NC). Las medidas de ultrasonido tenidas en cuenta fueron AOL y EGC medidas en la mitad de la prueba; ganancia de AOL (AOLg) y de EGC (EGCg). Las medidas de digestibilidad incluidas en el modelo fueron DMS, DPC, DFDN y DFDA. El aporte de cada variable fue determinado según el R^2 parcial. Para seleccionar el modelo óptimo se tuvo en cuenta el criterio Cp de Mallows (Gilmour, 1996), criterio utilizado para determinar el número óptimo de variables a ser retenidas en el modelo; se seleccionó el modelo que presentó el Cp más cercano al número de parámetros del modelo (Draper and Smith, 1981). El estadístico Cp es definido como:

$$C_p = \left(SSE_p / S^2 \right) - n + 2p; \text{ donde, } SSE_p = \text{suma de cuadrado del error del modelo considerado}$$

(modelo que contiene p variables explicativas, incluyendo el intercepto); S^2 = cuadrado medio del

error del modelo completo (modelo que contiene todas las variables explicativas de interés); n = número de datos y p = número de parámetros.

El modelo completo (con todas las medidas de ultrasonido y digestibilidad) fue el siguiente: $y_i = \beta_0 + \beta_1 GDP_i + \beta_2 PM_i + \beta_{x1} X_{ij} + \beta_{x2} N_{ij} + e_i$, donde, y_i es el CMS del i -ésimo búfalo; X_{ij} es la j -ésima característica de ultrasonido del i -ésimo búfalo; N_{ij} es la j -ésima característica de digestibilidad del i -ésimo búfalo; β_0 es el intercepto; β_1 es el coeficiente de regresión de GDP; β_2 es el coeficiente de regresión de PM; β_{x1} es el coeficiente de regresión de la j -ésima característica de ultrasonido (AOL, EGC AOLg y EGCg; β_{x2} es el coeficiente de regresión de la j -ésima característica de digestibilidad (DMS, DPC, DFDN y DFDA) y e_i es el residual para el i -ésimo búfalo, donde $e_i \sim N(0, \sigma_e^2)$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los animales provenientes de CSO presentaron un peso y una edad inicial de 295 kg y 293 días (después del período de adaptación de 28 días), siendo similar al reportado por Lourenço et al. (2010) para búfalos Murrah participantes de dos pruebas de ganancia de peso en Brasil, con pesos de 265 y 273 kg con una edad de 213 y 303 días. Los búfalos provenientes de sistemas DP ingresaron con una edad superior (489 días) y con un peso de 283 kg, debido a que fueron manejados bajo un sistema de producción diferente (las madres fueron sometidas a ordeño). Las ganancias de peso obtenidas en este estudio fueron 605 y 542 g/día para los animales de CSO y DP, respectivamente, siendo inferiores a las obtenidas por Lourenço et al. (2010) en las dos pruebas de ganancia de peso (911 and 969 g/d). El consumo de MS expresado como porcentaje del peso vivo fue de 1.9%, inferior al reportado para búfalos en crecimiento (2.26 y 2.10%) con un peso de 260 y 320 kg, respectivamente (Paul y Lal, 2010). Estos resultados pueden ser explicados por la dieta utilizada (dieta con un valor nutricional similar al de un pasto de calidad

media), con altos contenidos de fibra y bajos contenidos de PC. La digestibilidad promedio de la MS, PC, FDA y FDN encontrado en este estudio, fueron 57.31, 57.39, 47.75 y 50.30%, respectivamente. Paul y Lal (2010), analizando la información disponible de diferentes experimentos, encontraron un promedio para la digestibilidad de la MS y PC similar (56 y 55.8%), y una digestibilidad para la fibra bruta de 61.8%.

La variación del CMS fue explicada por el modelo de Koch en 70 y 72% en los búfalos provenientes de CSO y DP, respectivamente. Cuando fueron analizados los datos de los animales participantes de las cuatro pruebas, el modelo explicó el 57% de la variabilidad del CMS. Estos resultados están dentro del rango observado por Koch et al. (1963; 48 y 60%), Arthur et al. (2003; 70%), Basarab et al. (2003; 71 y 82%), Schenkel et al. (2004; 68%), Montanholi et al. (2009; 58%) y Lancaster et al. (2009; 61.5%). Elzo et al. (2009), encontraron que este modelo explicó en menor proporción la variación del CMS (30%), debido a que la regresión fue realizada con todos los corrales de alimentación, años, grupos raciales y sexos.

Las Tablas 2 y 3 presentan las medias de mínimos cuadrados de todas las características evaluadas por categorías de CRA, en los búfalos provenientes de CSO y DP, respectivamente. No fue posible hacer comparaciones con los resultados obtenidos en otros estudios porque los trabajos publicados sobre CRA, han sido realizados en vacunos de carne de diferentes razas ((Basarab et al., 2003; Nkrumah et al., 2004; Nkrumah et al., 2006; Montanholi et al., 2009; Elzo et al., 2009; Sobrinho et al., 2011).

Los animales pertenecientes a los grupos de alto, medio y bajo CRA, presentaron el peso inicial, peso final y GDP similares, tanto en los búfalos provenientes de CSO (Tabla 2), como los provenientes de sistemas DP (Tabla 3). Resultados similares fueron reportados por Sobrinho et al.

(2011), en ganado Nellore en Brasil y por Montanholi et al. (2009), en toros de las razas Angus, Simmental, Gelbvieh y Piedmontese en Canadá. Resultados diferentes fueron reportados por Elzo et al. (2009), quienes encontraron para ganancia de peso postdestete, una diferencia de 11.25 ± 5.29 kg entre grupos de alto y bajo CRA, indicando que los animales menos eficientes ganaron más peso durante la prueba.

El CRA promedio fue 0.00 kg/día (SD = 0.24 kg/día), presentándose un rango entre -0.69 y 0.50 kg/día para los búfalos de CSO y entre -0.52 y 0.68 kg/día para los animales DP, correspondiendo a una diferencia de 1.19 y 1.12 kg/día entre el animal más eficiente y el menos eficiente en los dos sistemas. El CMS fue diferente entre los tres grupos de CRA ($P = 0.0001$) para los animales DP (Tabla 3), mientras que en los animales de CSO solo se encontró diferencia significativa entre los animales con bajo CRA (más eficientes) y alto CRA (menos eficientes) ($P = 0.0458$). El grupo con bajo CRA consumió en promedio 0.330 y 0.580 kg/día menos (diferencia del 17.4 y 10.3%) que el grupo con alto CRA, para los animales de CSO y DP, respectivamente. Estos resultados coinciden con los encontrados en otros estudios realizados con vacunos de diferentes razas, pero las diferencias entre los grupos de alto y bajo CRA, fueron mayores. Nkrumah et al. (2004), evaluando vacunos cruzados en Canadá, reportaron una diferencia de 1.860 kg/día. Similarmente, Nkrumah et al. (2007), evaluando un mayor número de animales, encontraron una diferencia de 1.960 kg/día y Montanholi et al. (2009) de 2.24 kg/día. Diferencias por encima de 3.9 kg de MS/d, en promedio para 6 grupos raciales, fueron reportadas por Elzo et al. (2009). Diferencias intermedias fueron reportadas por Sobrinho et al. (2011), en ganado Nelore en Brasil (0.705 kg/día). Estos resultados pueden ser explicados en gran parte por la calidad de la dieta utilizada, pues esta tiene un efecto importante sobre el consumo. La dieta

utilizada en este estudio presentó bajos contenidos de proteína y altos contenidos de fibra, lo que pudo haber limitado el consumo, impidiendo detectar mayores diferencias entre grupos de CRA.

En sistemas de producción manejados bajo confinamiento, del 70 al 80% de los costos de producción se deben a la alimentación (Basarab et al., 2003). La identificación de animales con menos consumo, sin disminución de la producción, puede conllevar a grandes reducciones de los costos, incrementando la rentabilidad del sistema. Sin embargo, la evaluación del consumo de alimento individual en ganado es laboriosa y costosa, siendo un limitante para realizarlas en fincas comerciales.

La variación genética del consumo de alimento parece ser sobre todo, si no totalmente, explicada por diferencias en los costos de energía relacionados con el mantenimiento por unidad de tamaño metabólico, cuando las diferencias en la tasa y composición de la ganancia no se tienen en cuenta (Nielsen, 2004). Algunos autores han sugerido que, más allá del CMS por sí misma, algunos patrones de consumo varían entre animales menos y más eficientes. Al respecto, Golden y Kerley (2004), verificaron que los animales más eficientes consumen menos alimento y gastan menos tiempo consumiendo la dieta (menor número de bocados por día) que los animales menos eficientes. Herd et al. (2004), concluyeron que animales con alto CRA permanecen 13% más del tiempo en los comederos, que los animales con bajo CRA. Debido a este mayor tiempo, hay mayores gastos de energía relacionados con la aprehensión, masticación y rumia de la dieta.

Los búfalos provenientes de CSO con bajo CRA, presentaron mejor conversión alimenticia ($P = 0.0001$), con una diferencia del 13% con respecto a los búfalos con alto CRA (Tabla 2). Estos resultados están de acuerdo con los reportados por Nkrumah et al. (2004) y Montanholi et al. (2009), quienes encontraron una conversión más alta (20 y 21%) en los animales menos eficientes (CRA alto). Igualmente, Sobrinho et al. (2011), Basarab et al. (2003),

Baker et al. (2006) y Elzo et al. (2009), encontraron mejor conversión en los animales con bajo CRA. Sin embargo, los búfalos provenientes de sistemas DP (Tabla 3), presentaron una conversión similar en los tres niveles de CRA. Estos resultados muestran que en comparación con CRA, la conversión puede subestimar las diferencias entre animales en cuanto a la eficiencia energética, probablemente debido a los efectos del crecimiento y peso corporal sobre el consumo de alimento (Archer et al., 1999).

Para las características de desempeño, TCR y proporción Kleiber, no se encontraron diferencias entre los tres grupos de CRA, ni en los búfalos provenientes de CSO (Tabla 2), ni DP (Tabla 3). Esto se debe a que las características tenidas en cuenta, peso, ganancia de peso y días en el experimento, fueron similares para los animales más y menos eficientes. Estos resultados coinciden con los reportados por Nkrumah et al. (2004) y Sobrinho et al. (2011), quienes observaron que TCR y la proporción Kleiber, pueden no identificar diferencias en la eficiencia de la energía entre animales.

Las medidas de ultrasonido tomadas en la mitad de la prueba y la tasa de ganancia, fueron similares en los tres grupos de CRA, sugiriendo una pequeña asociación entre CRA y la composición corporal. Estos resultados están de acuerdo con lo reportado por otros autores (Basarab et al., 2003; Baker et al., 2006; Montanholi et al., 2009). Sin embargo, otros estudios han reportado diferencias en la deposición de tejido magro (Richardson et al., 2001; Schenkel et al., 2003; Richardson and Herd, 2004) y tejido graso (Richardson et al., 2001; Nkrumah et al., 2004) entre bovinos de carne con diferente CRA, basado en el modelo de Koch. Nkrumah et al. (2004), encontraron mayor grasa dorsal y mayor tasa de deposición en animales con alto CRA. Resultados para novillos seleccionados por CRA (Richardson et al., 2001), mostraron que la composición química se correlacionó con la variación genética de CRA. La descendencia de

padres con bajo CRA, presentaron menor contenido de grasa corporal y mayor contenido de proteína, que la progenie de padres con alto CRA.

Se encontraron diferencias entre los diferentes grupos de CRA para la digestibilidad de nutrientes (Tabla 2). Los búfalos con bajo CRA presentaron mayor digestibilidad de la materia seca ($P = 0.0001$), PC ($P = 0.0001$), FDA ($P = 0.0002$) y FDN ($P = 0.0065$). Indicando que los animales más eficientes, según el CRA, presentan una mejor utilización del alimento. Según Herd y Arthur (2009), los cinco procesos fisiológicos más importantes que contribuyen a la variación del CRA, están asociados al consumo de alimento, digestibilidad del alimento, metabolismo (anabolismo y catabolismo), actividad física y termorregulación.

En estudios con novillos Angus producto de selección divergente para CRA, reportaron que la digestibilidad explica un 10% de la variación del CRA. Sin embargo, los mecanismos fisiológicos identificados hasta ahora se basan en pocos estudios, algunos de los cuales han sido con muestras pequeñas (Herd y Arthur, 2009). Al respecto, Richardson y Herd (2004), encontraron que animales con bajo CRA, presentaron mayor DMS. Richardson et al. (1996), encontraron que animales clasificados fenotípicamente por alto o bajo CRA, tendieron a diferir en su habilidad para digerir la materia seca. Esta diferencia en DMS explicó en 14% la diferencia en consumo entre los dos grupos de animales.

Se determinaron correlaciones positivas para los animales DP y CSO entre CMS y GDP ($r = 0.43$, $P < 0.0001$ en DP; $r = 0.80$, $P < 0.0001$ en CSO), peso inicial ($r = 0.82$, $P < 0.0001$ en DP) y peso final ($r = 0.84$, $P < 0.0001$ en DP; $r = 0.43$, $P < 0.05$ en CSO). Para los búfalos de CSO la correlación entre CMS y peso inicial no fue significativa ($r = 0.22$, $P > 0.05$). Estos resultados son consistentes con las correlaciones fenotípicas reportadas previamente para animales en crecimiento (Sobrinho et al., 2011; Basarab et al., 2003; Lancaster et al., 2009) y en toros (Arthur et al., 2001a).

El CRA presentó correlación positiva con CMS ($r = 0.53$, $P < 0.0001$ en DP; $r = 0.54$, $P < 0.0001$ en CSO), indicando que animales menos eficientes (alto CRA) consumen más alimento, coincidiendo con lo reportado por Lancaster et al., 2009 ($r = 0.60$) y Nkrumah et al., 2004 ($r = 0.77$); una correlación más baja ($r = 0.16$) fue encontrada por Sobrinho et al. (2011). No se encontró correlación ($P > 0.05$) entre CRA y peso inicial ($r = 0.00$ en DP; $r = -0.01$ en CSO), CRA y peso final ($r = 0.00$ en DP y CSO) y entre CRA y GDP ($r = 0.00$ en DP y CSO), indicando que el CRA es independiente del peso corporal y de la GDP, lo que puede explicarse por el uso de estas características en la regresión lineal para calcular el CRA lo que determina la independencia fenotípica entre CRA y estas dos características. Igualess resultados fueron encontrados por Lancaster et al. (2009) y Nkrumah et al. (2004). Ha sido demostrado en varios estudios que el CRA es genéticamente independiente del peso y la tasa de crecimiento en ganado vacuno (Arthur et al., 2001a; Nkrumah et al., 2004).

En contraste con la falta de correlación entre CRA y GDP, una alta y negativa correlación fue observada entre GDP y conversión alimenticia ($r = -0.93$, $P < 0.0001$ en DP; $r = -0.76$, $P < 0.0001$ en CSO). Varios estudios han reportado fuertes correlaciones fenotípicas y genéticas entre A:G y GDP ($r = -0.42$ a -0.72 ; Sobrinho et al. 2011; Lancaster et al., 2009). Estos resultados sugieren que la selección por conversión alimenticia puede conllevar indirectamente a incrementos de la tasa de crecimiento y del tamaño del animal adulto, incrementando sus requerimientos nutricionales (Lancaster et al., 2009). Igualmente, la alta correlación positiva entre GDP y TRC ($r = 0.91$, $P < 0.0001$ en DP; $r = 0.72$, $P < 0.0001$ en CSO) y entre GDP y proporción de Kleiber ($r = 0.96$, $P < 0.0001$ en DP; $r = 0.83$, $P < 0.0001$ en CSO) sugieren un efecto fenotípico deseable de la proporción Kleiber y TRC sobre el crecimiento de los animales, pero efectos no deseables sobre el consumo de energía (altos requerimientos de mantenimiento), especialmente cuando el tamaño adulto es alcanzado (Archer et al., 1999; Nkrumah et al., 2004).

Altas correlaciones han sido reportadas por Nkrumah et al. (2004) y Sobrinho et al. (2011) entre GDP y TCR ($r = 0.48$ a 0.72) y entre GDP y la proporción de Kleiber ($r = 0.70$ a 0.85).

En contraste correlaciones alrededor de cero ($P > 0.05$) fueron encontradas entre CRA y TCR ($r = 0.01$ en DP; $r = -0.01$ en CSO) y entre CRA y proporción de Kleiber ($r = -0.01$ en DP y CSO). Estos resultados coinciden con los reportados por Sobrinho et al. (2011) y Nkrumah et al. (2004), indicando que la selección por CRA, no tendría efecto sobre el crecimiento de los animales. Correlaciones negativas fueron encontradas entre TCR con peso inicial ($r = -0.85$, $P < 0.0001$ en DP; $r = -0.70$, $P < 0.0001$ en CSO) y peso final ($r = -0.72$, $P < 0.0001$ en DP; $r = -0.49$, $P < 0.01$ en CSO) y entre la proporción Kleiber con peso inicial ($r = -0.83$, $P < 0.0001$ en DP; $r = -0.65$, $P < 0.0001$ en CSO) y peso final ($r = -0.68$, $P < 0.0001$ en DP; $r = -0.36$, $P < 0.05$ en CSO). Por lo tanto, la respuesta a la selección por TCR y Kleiber podría no ser tan independiente del crecimiento y talla de los animales, como fue encontrado en la selección por CRA.

El efecto significativo del peso inicial sobre las medidas de crecimiento, consumo y medidas de eficiencia, excepto CRA, es consistente con reportes donde afirman que el CRA, generalmente no es afectado por diferencias entre animales en cuanto tasas de crecimiento y patrones de madurez (Archer et al., 1999; Liu et al., 2000). Este hallazgo también indica que CRA, comparado con otras medidas de eficiencia, puede no ser afectado por el ambiente predestete, variaciones en la edad, peso corporal, o incluso edad de la madre, siendo un índice más robusto para la comparación de datos a través de ambientes y grupos contemporáneos diferentes (Herd and Bishop, 2000).

Se encontró una correlación media entre CRA y conversión alimenticia ($r = 0.57$, $P < 0.0001$) en los búfalos de CSO, pero no alcanzó a ser significativa en los animales DP ($r = 0.16$, $P > 0.05$), aunque los animales con más bajo CRA, presentaron una disminución de la conversión del 7% con relación a los búfalos con alto CRA. Correlaciones moderadas han sido reportadas

por Lancaster et al. (2009; 0.49) y Sobrinho et al. (2011; 0.25). Correlaciones más altas han sido reportadas por Arthur et al. (2001b) en toros ($r = 0.53$) y por Nkrumah et al. (2004) en novillos ($r = 0.62$). Estos resultados indican que aplicando selección en contra de CRA, se podría mejorar la eficiencia en la utilización del alimento.

En el grupo de animales de CSO, el CRA estuvo correlacionado con la digestibilidad de la MS ($r = -0.55$, $P < 0.0001$), de la PC ($r = -0.55$, $P < 0.0001$), de FDA ($r = -0.49$, $P < 0.01$) y de FDN ($r = -0.42$, $P < 0.01$), mientras que en los búfalos DP, el CRA estuvo correlacionado con la digestibilidad de la MS ($r = -0.58$, $P < 0.0001$) y PC ($r = -0.59$, $P < 0.0001$). Las correlaciones negativas indican que un CRA bajo (mayor eficiencia) fue asociado con una mayor digestibilidad. Esto concuerda con las diferencias encontradas para DN entre los tres grupos de CRA (alto, medio, bajo), discutido anteriormente. Al respecto, Richardson et al. (1996), encontraron que novillas y toros jóvenes fenotípicamente clasificados por bajo o alto CRA, tendieron a diferir en su habilidad para digerir la MS. Igualmente, Richardson and Herd (2004), hallaron una correlación negativa ($r = -0.44$) entre CRA y digestibilidad de la MS.

No se encontró asociación ($P > 0.05$) entre CRA y las medidas de ultrasonido AOL ($r = -0.03$ en DP; $r = 0.05$ en CSO); EGC ($r = 0.02$ en DP; $r = -0.09$ en CSO); AOLg ($r = -0.01$ en DP; $r = -0.06$ en CSO) y EGCg ($r = -0.00$ en DP; $r = 0.09$ en CSO), coincidiendo con la similitud entre los tres grupos de CRA, discutido anteriormente. Diversos trabajos han reportado correlaciones entre CRA y grasa dorsal (medida entre la 12 y 13 costilla), pero no con la grasa de la cadera. Al respecto, Nkrumah et al. (2004), solo encontraron correlaciones entre CRA y ganancia de grasa dorsal ($r = 0.30$) y grasa dorsal en la mitad de la prueba (0.19). Igualmente, Lancaster et al. (2009), reportaron una correlación entre CRA con grasa dorsal al final de la prueba, ganancia de grasa y ganancia de AOL de 0.20, 0.30 y 0.17, respectivamente.

La magnitud y la dirección de las correlaciones genéticas para medidas de composición corporal y CRA, proporcionan evidencia sobre el efecto de los genes que determinan la composición corporal y CRA (Herd and Arthur, 2009). Al respecto, Arthur et al. (2001b), encontraron bajas correlaciones genéticas (r_g) y fenotípicas (r_f) entre CRA y grasa subcutánea medida sobre la 12 y 13 costilla ($r_g = 0.17$; $r_f = 0.14$); grasa en la cadera ($r_g = 0.06$; $r_f = 0.11$) y AOL ($r_g = 0.09$; $r_f = 0.06$). Schenkel et al. (2004), reportaron bajas correlaciones genéticas y fenotípicas entre CRA y grasa dorsal ($r_g = 0.16$; $r_f = 0.17$) y CRA con AOL ($r_g = -0.17$; $r_f = -0.14$). Correlaciones genéticas más altas fueron encontradas por Nkrumah et al. (2007) entre CRA y grasa dorsal ($r = 0.35$). En animales de mayor edad, Robinson y Oddy (2004), reportaron correlaciones genéticas de 0.48 y 0.72 para grasa dorsal y grasa en la cadera con CRA, evidenciando una asociación más estrecha entre el efecto de los genes que controlan las medidas de grasa y el CRA.

La magnitud de la asociación entre composición corporal y variación en CRA es influenciada por la edad y estado de madurez de los animales probados. Las pruebas de desempeño para ganado de carne usualmente involucra animales en crecimiento, en los cuales la síntesis de proteína es más eficiente que la deposición de grasa, mientras que en animales adultos, los requerimientos de mantenimiento para proteína son mayores que para grasa, favoreciendo la asociación entre un incremento de la deposición de grasa y menos CRA (Tixier-Boichard et al., 2002).

En los búfalos provenientes de sistemas DP, se encontraron correlaciones negativas entre la conversión alimenticia y las ganancias de EGC ($r = -0.32$, $P < 0.01$) y AOL ($r = -0.52$, $P < 0.0001$), indicando que los búfalos más eficientes, depositaron músculo y grasa más rápidamente, concordando con lo reportado por Lancaster et al. (2009), quienes encontraron correlaciones negativas pero más bajas (grasa dorsal $r = -0.15$; AOL = -0.19). Resultado contrario reportaron

Nkrumah et al. (2004), quienes observaron una correlación positiva con deposición de grasa ($r = 0.30$). Para los búfalos de CSO no se determinó asociación ($P > 0.05$) entre la conversión y la deposición de los diferentes tejidos, AOLg ($r = 0.00$) y EGCg ($r = -0.01$).

En las Tablas 4, 5 y 6, se presentan las ecuaciones de regresión para predecir el CMS, generadas por la regresión stepwise. En los animales provenientes de CSO (Tabla 4), las variables que más aportaron a la variación del CMS fueron GDP (65%), PM (11%) y DMS (6%). Con el modelo que incluyó como variables independientes CMS, GDP y DMS, se obtuvo un R^2 de 0.82, siendo este el modelo óptimo (modelo señalado en negrita), según el criterio Cp de Mallows (Gilmour, 1996). Al dejar todas las variables que contribuyeron a la explicación del CMS, el R^2 sube a 0.85. Con el modelo clásico de CRA (Koch et al., 1963), se obtuvo un R^2 de 0.70, pudiéndose afirmar que la información sobre digestibilidad de MS, mejora la predicción de CMS; es importante anotar la dificultad que presenta la medición de esta variable en los sistemas de producción.

Para los búfalos DP (Tabla 5), las variables que más aportaron a la variación del CMS fueron PM (58%) y DMS (15%), seguidas de DFDN (3.8%) y GDP (3.6%). Las otras variables que fueron tenidas en cuenta en la construcción de modelos por el procedimiento stepwise, fueron DPC y ganancia de AOL. Según el criterio Cp, el modelo óptimo fue el que tuvo como variables independientes PM, DMS y DFDN, con un R^2 de 0.77 (modelo señalado en negrita).

Cuanto se tuvieron en cuenta los datos de las cuatro pruebas (Tabla 6), se obtuvieron ocho modelos en los cuales se tuvieron en cuenta todas las variables independientes, excepto EGC medida en la mitad de la prueba y deposición de grasa. Las variables que más contribuyeron a la explicación de la variación del CMS fueron PM (39%), DMS (29%) y GDP (9%). Con el modelo

de Koch se obtuvo un R^2 de 0.57, pero adicionando DMS como variable independiente, se mejora la predicción del consumo ($R^2 = 0.77$). Según el criterio C_p , el modelo óptimo fue el que incluyó como variables independientes GDP, PM, DMS y DPC, con un R^2 de 0.79 (modelo señalado en negrita). Mientras que la digestibilidad de nutrientes explicaron en 31.7% el CMS, las medidas de ultrasonido no contribuyeron a mejorar la predicción de consumo, sin embargo es importante resaltar la dificultad de medir la digestibilidad en los sistemas de producción.

En general se puede afirmar que los dos parámetros utilizados para calcular CRA según el modelo de Koch, PM como un indicador de mantenimiento y GDP como una medida de producción, explican en gran medida la variación del CMS. Sin embargo, la adición de medidas de digestibilidad, especialmente de MS, mejoró sustancialmente el modelo, mientras que las mediciones de ultrasonido no tuvieron impacto significativo sobre la predicción del CMS.

La importante contribución de la DN en la explicación de la variación del CMS, coincide con las diferencias encontradas entre los tres grupos de CRA. Según Herd y Arthur (2009), la digestibilidad explica un 10% de la variación del CRA y Richardson y Herd (2004), observaron que la diferencia en digestibilidad de la MS explicó en un 14% la diferencia en consumo entre dos grupos de animales (alto y bajo CRA).

El bajo impacto de las características de ultrasonido en la explicación de la variación del CMS, está de acuerdo con la similitud entre los tres grupos de CRA para todas las medidas de ultrasonido, lo cual fue discutido anteriormente. La deposición de músculo y especialmente de grasa, es afectada por la raza, el período de ceba y la dieta. Además, la categoría de animales también puede influir en la cantidad de grasa de la cadera, ya que búfalos jóvenes, como los utilizados en este estudio, presentan niveles más bajos de grasa que animales finalizando la etapa

de ceba. Por lo tanto, las medidas de ultrasonido pueden ser relevantes en la determinación de CMS, bajo situaciones donde los factores que determinan la deposición de músculo y grasa presenten una mayor variación que la observada en este estudio. Además, el tiempo durante el ciclo de producción en que las medidas de ultrasonido son tomadas, puede influir en su aplicación exitosa. (Montanholi et al., 2009).

Estos resultados concuerdan con los reportados por Montanholi et al. (2009), quienes compararon diferentes modelos de regresión para determinar CRA. Estos autores encontraron que el AOL y grasa dorsal medidas en la mitad de la prueba, únicamente mejoraron la explicación de la variación del CMS en 4 y 1%, con relación al modelo de Koch. Sin embargo, cuando el total de ganancia o la tasa de ganancia de grasa dorsal fueron incluidos en el modelo, mejoraron la explicación del CMS en 16%. Arthur et al. (2003), observaron un mejoramiento de 5% en la predicción del CMS después de incluir en el modelo la grasa dorsal al final de la prueba. El modelo que incluyó AOL, marmóreo y grasa dorsal, mejoró la predicción del CMS en 9% en comparación con el modelo de Koch (Montanholi et al., 2009). Así mismo, Arthur et al. (2003) y Basarab et al. (2003), observaron un incremento del 6%, utilizando modelos similares en bovinos jóvenes de carne. Knott et al. (2008), encontraron un incremento de la predicción del 16% cuando las medidas de ultrasonido fueron adicionadas al modelo de Koch para predecir el CMS en ovejas de carne. Así mismo, Lancaster et al. (2009) encontraron que la grasa dorsal y el AOL representaron el 9% de la variación del CMS que no fue explicada por el PM y la GDP.

CONCLUSIONES

El consumo residual de alimento es una herramienta útil para identificar los búfalos más eficientes, sin alterar su desempeño productivo. Los dos parámetros utilizados en el modelo de Koch, peso metabólico como un indicador de mantenimiento y ganancia diaria de peso como una

medida de producción, explicaron en gran medida la variación del consumo de materia seca. Sin embargo, la adición de medidas de digestibilidad, especialmente de materia seca, mejoró sustancialmente el modelo. No obstante, es importante anotar la dificultad que presenta la medición de esta variable, limitando su aplicación. Las medidas de ultrasonido fueron similares en los tres grupos de consumo residual de alimento (alto, medio y bajo) y no tuvieron impacto significativo sobre la predicción del consumo de materia seca. Es importante realizar estudios adicionales involucrando otras medidas de ultrasonido como grasa dorsal y marmóreo, además de utilizar animales con mayor edad, que facilite establecer la asociación entre estas medidas y consumo.

LITERATURA CITADA

- Archer, J. A., E. C. Richardson, R. M. Herd, and P. F. Arthur. 1999. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: A review. *Aust. J. of Agric. Res.* 50:147–161.
- Arthur, P. F., G. Renand and D. Krauss. 2001a. Genetic and phenotypic relationships among different measures of growth and feed efficiency in young Charolais bulls. *Livest. Prod. Sci.* 68:131–139.
- Arthur, P. F., J. A. Archer, D. J. Johnson, R. M. Herd, E. C. Richardson, and P. F. Parnell. 2001b. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. *J. Anim. Sci.* 79:2805–2811.
- Arthur, P. F., R. M. Herd and J. A. Archer. 2003. Should measures of body Composition be included in the model for residual feed intake in beef cattle? *Proc. Assoc. Adv. Anim. Breed. Genet.* 15:306–309.

- Baker, S. D., J. I. Szasz, T. A. Klein, P. S. Kuber, C. W. Hunt, J. B. Glaze, Jr., D. Falk, R. Richard, J. C. Miller, R. A. Battaglia and R. A. Hill. 2006. Residual feed intake of purebred Angus steers: effects on meat quality and palatability. *J. Anim. Sci.* 84: 938–945.
- Basarab, J. A., M. A. Price, J. L. Aalhus, E. K. Okine, W. M. Snelling and K. L. Lyle. 2003. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 83:189–204.
- Berchielli, T. T., P. Andrade, C. L. Furlan. 2000. Avaliação de indicadores internos em ensaios de digestibilidade. *Rev Soc Bras Zootec.* 29:830-833.
- Bergh, L., M. M. Scholtz and G. J. Erasmus. 1992. Identification and assessment of the best animal: The Kleiber ratio (growth/metabolic mass) as a selection criterion for beef cattle. *Proc. Aust. Assoc. Anim. Breed. Genet.* 10:338–340.
- Border, J. R., L. E. Harris, J. E. Butcher. 1963. Apparatus for obtaining sustained quantitative collections of urine from male cattle grazing pasture or range. *J. Anim. Sci.* 22: 521-525.
- Brody, S. 1945. *Bioenergetics and Growth, with Special Reference to the Efficiency Complex in Domestic Animals.* Reinhold Publishing Corp., New York.
- Castro Bulle, F.C.P., P. V. Paulino, A. C. Sanches, R. D. Sainz. 2007. Growth, carcass quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. *J. Anim. Sci.* 85: 928–936.
- Correa, H. J., M. L. Pabón y J. E. Carulla. 2009. Estimación del consumo de materia seca en vacas Holstein bajo pastoreo en el trópico alto de Antioquia. *Liv Res Rur Dev.* 21 (4).

- Draper, N. R. and H. Smith. 1981. Applied regression analysis. University of Wisconsin, WI and Proctor & Gamble Company New York: Wiley. 407 p.
- Elzo, M. A., D. G. Riley, G. R. Hansen, D. D. Johnson, R. O. Myer, S. W. Coleman, C. C. Chase, J. G. Wasdin and J. D. Driver. 2009. Effect of breed composition on phenotypic residual feed intake and growth in Angus, Brahman, and Angus x Brahman crossbred cattle. *J Anim Sci.* 87: 3877-3886.
- Fitzhugh Junior, H. A., C. S. St. Taylor. 1971. Genetic analysis of degree of maturity. *J. Anim. Sci.* 33: 717-725.
- Gilmour, S. G. 1996. The interpretation of Mallows's *Cp*-statistic. *The Statistician.* 45: 49–56.
- Golden, J. W., M. S. Kerley. 2004. Relationship of feeding behavior to feed efficiency in crossbred Angus steers. In: Annual Meeting of the American Society of Animal Science, 2004, Saint Louis. Proceedings Saint Louis: American Society of Animal Science. 410 p.
- Gorski J., F. R. Blosser, A. S. Murdock, A. S. Hodgson, B. K. Sony, R. E. Erb. 1957. A urine and faeces collection apparatus for heifers and cows. *J. Anim. Sci.* 24: 100-109.
- Herd, R. M. and P. F. Arthur. 2009. Physiological basis for residual feed intake. *J. Anim. Sci.* 87(E. Suppl.): E64–E71.
- Herd, R. M., and S. C. Bishop. 2000. Genetic variation in residual feed intake and its association with other production traits in British Hereford cattle. *Livest. Prod. Sci.* 63:111–119.
- Herd, R. M., J. A. Archer and P. F. Arthur. 2003. Reducing the cost of beef production through genetic improvement in residual feed intake: Opportunity and challenges to application. *J. Anim. Sci.* 81(E. Suppl. 1):E9–E17.

- Herd, R. M., V. H. Oddy, and E. C. Richardson. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 1. Review of potential mechanisms. *Aust. J. Exp. Agric.* 44:423–430.
- Jorge, A. M., C. Andrighetto, D. M. Domingues, C. Golfetto, V. A. D. Freitas. 2005. Características Quantitativas da Carcaça de Bubalinos de Três Grupos Genéticos Terminados em Confinamento e Abatidos em Diferentes Estádios de Maturidade. *Rev. Bras. Zootec.* 34 (Suppl): 2376-2381.
- Khan, M. A., M. Un-Nisa and M. Sarwar. 2003. Techniques Measuring Digestibility for the Nutritional Evaluation of Feeds. *International Journal of Agriculture and Biology.* 5 (1): 91 - 94.
- Kleiber, M. 1947. Body size and metabolic rate. *Physiol. Rev.* 27:511–541.
- Knott, S. A., L. J. Cummins, F. R. Dunshea, B. J. Leury. 2008. The use of different models for the estimation of residual feed intake (RFI) as a measure of feed efficiency in meat sheep. *Anim. Feed Sci. Tech.* 143, 242–255.
- Koch, R. M., L. A. Swiger, C. doyle and K. E. Gregory. 1963. efficiency of feed use in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 22:486-494.
- Littell, R. C., J. Pendergast, and R. Natarajan. 2004. Modeling covariance structure in the Analysis of Repeated Measures Data. In *Statistical Modelling of Complex Medical Data in Medicine*, R. B. D’Agostino, Ed., USA 2:159 – 186.
- Liu, M. F., L. A. Goonewardene, D. R. C. Bailey, J. A. Basarab, R. A. Kemp, P. F. Arthur, E. K. Okine, and M. Makarechian. 2000. A study on the variation of feed efficiency in station tested beef bulls. *Can. J. Anim. Sci.* 80:435–441.

- Lourenço, J. J. de B, N. M. da Costa, C. V. Araújo, S. Dutra, G. A. Rossetto, B. de S. Nahúm, de M. J. C. Silveira, and L. de M. Brandão. 2010. Sistema silvipastoril na produção sustentável de búfalos para carne na pequena propriedade da amazônia oriental. *Bioclimatologia Animal*, Quinta-Feira.
- Montanholi, Y.R., K.C. Swanson, F.S. Schenkel, B.W. McBride, T.R. Caldwell, S.P. Miller. 2009. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. *Livest. Sci.* 125 (1): 22-30
- National Research Council. 2001. The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition. National Academy Press, Washington, D. C. 381 p.
- Nielsen, M. K. 2004. Genetic variation in feed utilization: selection responses in mice. In: Annual Meeting of the American Society of Animal Science, 2004, Saint Louis. Proceedings Saint Louis: American Society of Animal Science. 410 p.
- Nkrumah, J. D., D. H. Crews Jr., J. A. Basarab, M. A. Price, E.K. Okine, Z. Wang, C. Li, and S. S. Moore. 2007. Genetic and phenotypic relationships of feeding behavior and temperament with performance, feed efficiency, ultrasound, and carcass merit of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 85:2382–2390.
- Nkrumah, J. D., E. K. Okine, G. W. Mathison, K. Schmid, C. Li, J. A. Basarab, M. A. Price, Z. Wang and S. S. Moore. 2006. Relationships of feedlot efficiency, performance, and feeding behaviour with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 84: 145–153.
- Nkrumah, J. D., J. A. Basarab, M. A. Price, E. K. Okine, A. Ammoura, S. Guercio, C. Hansen, C. Li, B. Murdoch, and S. S. Moore. 2004. Different measures of energetic efficiency and

- their phenotypic relationships with growth, feed intake, and ultrasound and carcass merit in hybrid cattle. *J. Anim. Sci.* 82:2451–2459.
- Owens, F. N., D. R. Gill, D. S. Secrist, S. W. Coleman. 1995. Review of some aspects of growth and development of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 73:3152–3172.
- Paul, S. S., D. Lal. 2010. *Nutrient Requirements of Buffaloes*. Satish Serial Publishing House. 81 p.
- Penning, P. D., R. H. Johnson. 1983. The use of internal markers to estimate herbage digestibility and intake. 2. Indigestible acid detergent fiber. *J. Agric Sci.* 100:133-138.
- Perkins, T. L., Green, R. D. and Hamlin, K. E. 1992. Evaluation of ultrasonic estimates of carcass fat thickness and longissimus muscle area in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 70: 1002-1010.
- Realini, C.E., Williams, R.E., Pringle, T.D. and Bertrand, J.K. 2001. Gluteus medius and rump fat depths as additional live animal ultrasound measurements for predicting retail product and trimmable fat in beef carcasses. *J. Anim. Sci.* 79, 1378–1385.
- Richardson, E. C., R. M. Herd, P. F. Arthur, J. Wright, G. Xu, K. Dibley, and V. H. Oddy. 1996. Possible physiological indicators for net feed conversion efficiency in beef cattle. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 21:103–106.
- Richardson, E.C., Herd, R.M., Oddy, V.H., Thompson, J.M., Archer, J.A., Arthur, P.F., 2001. Body composition and implications for heat production of Angus steer progeny of parents selected for and against residual feed intake. *Aust. J. Exp. Agric.* 41: 1065–1072.

- Richardson, E.C., R. M. Herd. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. *Aust. J. Exp. Agric.* 44: 431–440.
- Robinson, D. L. and V. H. Oddy. 2004. Genetic parameters for feed efficiency, fatness, muscle area and feeding behavior of feedlot finished beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 90:255–270.
- Rodríguez, N. M., S. E. Oliveira y R. Guimarães-Júnior. 2007. Uso de Indicadores para estimar consumo y digestibilidad de pasto. LIPE, lignina purificada y enriquecida. *Revista colombiana de ciencias pecuarias*. 20 (4): 518-525.
- Schenkel, F. S., S. P. Miller, and J. W. Wilton. 2004. Genetic parameters and breed differences for feed efficiency, growth, and body composition traits of young beef bulls. *Can. J. Anim. Sci.* 84:177–185.
- Schenkel, F.S., S. P. Miller, J. W. Wilton. 2003. Genetic parameters of feed efficiency, growth and carcass traits of beef bulls. *Can. J. Anim. Sci.* 83: 617–618.
- Sobrinho, T. L., R. H. Branco, S. F. M. Bonilha, A. M. de Castilhos, L. A. de Figueiredo, A. G. Razook, M. E. Z. Mercadante. 2011. Residual feed intake and relationships with performance of Nellore cattle selected for post weaning weight. *R. Bras. Zootec.* 40 (4): 929-937.
- Tixier-Boichard, M., A. Bordas, G. Renand, and J. P. Bidanel. 2002. Residual food consumption as a tool to unravel genetic components of food intake. *Proc. 7th. World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod. Institut National de la Recherche. Agronomique, Montpellier, France.* 10–06.
- Zeoula, L. M., I. N. Prado, P. H. M. Dian, L. J. Valério, S. Ferreira, E. Midore, P. D. P. Peron, J. Araujo, A. J. da Silva. 2002. Fecal Recuperation of Internal Markers in Assay with Ruminants. *Rev. Bras. Zootec.* 31 (4):1865-1874

Tabla 1. Composición de la dieta experimental utilizada en las pruebas de desempeño de búfalos provenientes de dos sistemas de producción (cría sin ordeño y doble propósito)

Composición nutricional	Pasto maralfalfa ¹				Suplemento			
	CSO ²		DP		CSO		DP	
	PD ₁	PD ₂	PD ₁	PD ₂	PD ₁	PD ₂	PD ₁	PD ₂
Proteína	7.46	8.49	5.88	7.60	13.98	14.20	14.63	16.48
Energía (Kcal/kg)	3866	3774	3857	3974	3813	3800	3846	4418
Fibra detergente ácido (%)	48.10	47.89	44.68	43.79	12.53	9.19	9.50	8.14
Fibra detergente neutro (%)	71.56	64.79	71.29	63.47	18.55	20.14	17.15	15.20
Lignina (%)	11.92	11.66	12.61	11.59				
Cenizas totales (%)					8.50	7.50	6.35	6.80
Calcio (%)					2.07	2.05	1.82	1.95
Extracto etéreo (%EE)					1.53	1.95	2.41	2.00
Fósforo (%)					0.19	0.20	0.21	0.20

¹ La composición del pasto maralfalfa es el promedio de cuatro muestras tomadas cada mes, la cual estuvo compuesta por tres submuestras tomadas durante tres días consecutivos antes de cada medición.

² CSO: sistema de producción predestete sin ordeño; DP: sistema de producción predestete doble propósito. PD₁: primera prueba de desempeño. PD₂: segunda prueba de desempeño.

Tabla 2. Medias de mínimos cuadrados para características de desempeño y medidas de eficiencia para búfalos provenientes de sistemas de cría sin ordeño por categorías de consumo residual de alimento (CRA)

Característica	Media ^b	Grupo Consumo residual de alimento ^a			P
		Alto	Medio	Bajo	
N° de animales	45	15	16	14	—
Peso inicial (kg)	295 ± 31.68	298 ± 7.59	302 ± 7.29	293 ± 7.73	0.6902
Peso final (kg)	351 ± 31.02	349 ± 8.25	356 ± 7.42	349 ± 8.40	0.7248
GDP (kg/d)	0.605 ± 0.068	0.578 ± 0.012	0.596 ± 0.012	0.619 ± 0.013	0.0855
CMS (kg/d)	6.13 ± 0.449	6.25 ± 0.087 ^c	6.09 ± 0.084 ^{cd}	5.92 ± 0.089 ^d	0.0458
CRA (kg MS/d)	0.00 ± 0.24	0.25 ± 0.029 ^c	-0.02 ± 0.028 ^d	-0.27 ± 0.029 ^e	0.0001
A:G (CMS/GDP)	10.19 ± 0.71	10.85 ± 0.106 ^c	10.28 ± 0.102 ^d	9.60 ± 0.108 ^e	0.0001
TRC	0.082 ± 0.011	0.078 ± 0.0019	0.079 ± 0.0019	0.084 ± 0.0020	0.0603
Kleiber	0.007 ± 0.0008	0.0070 ± 0.0001 ^c	0.0070 ± 0.0001 ^{cd}	0.0074 ± 0.0001 ^d	0.0315
DMS (%)	57.31 ± 6.15	54.98 ± 0.94 ^c	57.71 ± 0.90 ^c	61.32 ± 0.95 ^d	0.0001
DPC (%)	57.39 ± 8.48	52.64 ± 1.35 ^c	57.87 ± 1.30 ^d	64.05 ± 1.38 ^e	0.0001
DFDA (%)	47.75 ± 9.09	45.10 ± 1.16 ^c	48.77 ± 1.1 ^c	52.82 ± 1.18 ^d	0.0002
DFDN (%)	50.30 ± 6.08	48.31 ± 1.10 ^c	50.78 ± 1.06 ^{cd}	53.67 ± 1.12 ^d	0.0065
EGC (mm)	5.90 ± 1.74	6.17 ± 0.377	6.10 ± 0.362	5.94 ± 0.384	0.9083
AOL (cm ²)	40.91 ± 4.73	40.86 ± 1.266	41.67 ± 1.216	40.51 ± 1.290	0.7966
EGCg (mm/d)	0.013 ± 0.0083	0.015 ± 0.0022	0.013 ± 0.0021	0.011 ± 0.0022	0.4971
AOLg (cm ² /d)	0.057 ± 0.0112	0.055 ± 0.0030	0.057 ± 0.0029	0.059 ± 0.0031	0.6070

^a Medias de mínimos cuadrados y error estándar. ^b Media general y desviación estándar.

^{c,d,e} Medias en una misma fila con diferente superíndice, difieren estadísticamente (prueba de Tukey-Kramer).

GDP, promedio de ganancia diaria de peso; CMS, consumo de materia seca; CRA, consumo residual de alimento; A:G, conversión alimenticia; TCR, tasa de crecimiento relativo; DMS, digestibilidad de la materia seca; DPC, digestibilidad de la proteína cruda; DFDA, digestibilidad de la fibra en detergente ácido; DFDN, digestibilidad de la fibra en detergente neutro; EGC, espesor de la grasa de la cadera en la mitad de la prueba; AOL, área del músculo Longissimus, en la mitad de la prueba; EGCg, promedio de ganancia diaria de grasa en la cadera; AOLg, promedio de ganancia diaria del músculo Longissimus.

Tabla 3. Medias de mínimos cuadrados para características de desempeño y medidas de eficiencia para búfalos provenientes de sistemas doble propósito por categorías de consumo residual de alimento (CRA)

Característica	Media ^b	Grupo Consumo residual de alimento ^a			P
		Alto	Medio	Bajo	
Nº de animales	61	16	26	19	—
Peso inicial (kg)	283 ± 57.80	289 ± 11.46	282 ± 9.02	290 ± 10.66	0.8416
Peso final (kg)	338 ± 49.72	345 ± 10.95	336 ± 8.62	342 ± 10.18	0.8152
GDP (kg/d)	0.542 ± 0.14	0.543 ± 0.020	0.527 ± 0.016	0.528 ± 0.018	0.7833
CMS (kg/d)	5.91 ± 0.45	6.23 ± 0.031 ^c	5.90 ± 0.025 ^d	5.65 ± 0.029 ^e	0.0001
CRA (kg MS/d)	0 ± 0.24	0.31 ± 0.028 ^c	-0.01 ± 0.022 ^d	-0.24 ± 0.026 ^e	0.0001
A:G (CMS/GDP)	11.75 ± 3.65	12.32 ± 0.50	11.91 ± 0.39	11.48 ± 0.47	0.4683
TRC	0.085 ± 0.027	0.086 ± 0.0035	0.085 ± 0.0028	0.084 ± 0.0033	0.8523
Kleiber	0.007 ± 0.0023	0.0071 ± 0.0002	0.0070 ± 0.0002	0.0069 ± 0.0002	0-8004
EGC (mm)	5.21 ± 1.91	5.72 ± 0.362	4.80 ± 0.284	5.18 ± 0.337	0.1523
AOL (cm ²)	36.87 ± 6.86	35.69 ± 0.849	36.36 ± 0.666	38.19 ± 0.790	0.0768
EGCg (mm/d)	0.015 ± 0.0100	0.016 ± 0.0025	0.013 ± 0.0019	0.015 ± 0.0023	0.6601
AOLg (cm ² /d)	0.072 ± 0.0277	0.068 ± 0.0060	0.076 ± 0.0047	0.066 ± 0.0056	0.3622 ^b

^a Medias de mínimos cuadrados y error estándar. ^b Media general y desviación estándar.

^{c,d,e} Medias en una misma fila con diferente superíndice, difieren estadísticamente (prueba de Tukey-Kramer).

GDP, promedio de ganancia diaria de peso; CMS, consumo de materia seca; CRA, consumo residual de alimento; A:G, conversión alimenticia; TCR, tasa de crecimiento relativo; EGC, espesor de la grasa de la cadera en la mitad de la prueba; AOL, área del músculo Longissimus, en la mitad de la prueba; EGCg, promedio de ganancia diaria de grasa en la cadera; AOLg, promedio de ganancia diaria del músculo Longissimus.

Tabla 4. Ecuaciones de regresión para predecir consumo de materia seca en búfalos provenientes de sistemas CSO.

Ecuación ²	R ²	Cp ¹
CMS = 2.91 + 5.23GDP + CRA	0.65	38.8
CMS = 4.53 + 4.58GDP – 0.020DMS + CRA	0.71	26.2
CMS = 3.09 + 3.99GDP + 0.029PM – 0.029DMS + CRA	0.82	3.17
CMS = 2.99 + 3.93GDP + 0.031PM + 5.11EGCg – 0.030DMS + CRA	0.83	3.24
CMS = 2.93 + 3.72GDP + 0.031PM + 5.78EGCg – 0.020DMS – 0.008DFDA + CRA	0.84	3.58
CMS = 2.98 + 3.72GDP + 0.033PM – 2.80AOLg + 5.96EGCg – 0.021DMS – 0.008DFDA + CRA	0.84	4.58
CMS = 2.87 + 3.68GDP + 0.032PM – 2.89AOLg + 6.96EGCg – 0.023DMS + 0.011DFDN – 0.014DFDA + CRA	0.85	5.53

¹Criterio Cp de Mallows.

² CMS, consumo de materia seca; GDP, promedio de ganancia diaria de peso; PM, peso metabólico en la mitad de la prueba, DMS, digestibilidad de la materia seca; DFDA, digestibilidad de la fibra en detergente ácido; DFDN, digestibilidad de la fibra en detergente neutro; EGCg, ganancia de grasa en la cadera (mm/día); AOLg, ganancia en área del músculo Longissimus (cm²/día); CRA, consumo residual de alimento, corresponde al término del error.

Tabla 5. Ecuaciones de regresión para predecir consumo de materia seca en búfalos provenientes de sistemas DP

Ecuación ²	R ²	Cp ¹
CMS = 2.85 + 0.042PM + CRA	0.58	24.41
CMS = 6.33 + 0.037PM – 0.054DMS + CRA	0.73	7.41
CMS = 6.50 + 0.037PM – 0.078DMS + 0.027DFDN + CRA	0.77	4.69
CMS = 5.71 + 0.709GDP + 0.040PM – 0.081DMS + 0.033DFDN + CRA	0.81	2.14
CMS = 5.76 + 0.810GDP + 0.041PM – 0.062DMS – 0.018DPC + 0.030DFDN + CRA	0.82	2.17
CMS = 5.72 + 0.698GDP + 0.041PM + 1.027AOLg – 0.060DMS – 0.019DPC + 0.028DFDN + CRA	0.83	3.66

¹Criterio Cp de Mallows.

² CMS, consumo de materia seca; GDP, promedio de ganancia diaria de peso; PM, peso metabólico en la mitad de la prueba, DMS, digestibilidad de la materia seca; DFDN, digestibilidad de la fibra en detergente neutro; DPC, digestibilidad de la proteína; AOLg, ganancia en área del músculo Longissimus (cm²/día); CRA, consumo residual de alimento, corresponde al término del error.

Tabla 6. Ecuaciones de regresión para predecir consumo de materia seca en los búfalos participantes en las cuatro pruebas de desempeño.

Ecuación ²	R ²	Cp ¹
CMS = 2.98 + 0.041PM + CRA	0.39	129.58
CMS = 5.90 + 0.040PM – 0.049DMS + CRA	0.68	35.74
CMS = 4.20 + 1.57GDP + 0.045PM – 0.043DMS + CRA	0.77	7.41
CMS = 3.99 + 1.72GDP + 0.045PM – 0.026DMS – 0.014DPC + CRA	0.79	4.03
CMS = 3.96 + 1.82GDP + 0.043PM – 0.033DMS – 0.014DPC + 0.011DFDN + CRA	0.79	3.97
CMS = 3.86 + 1.75GDP + 0.042PM – 0.029DMS – 0.012DPC + 0.018DFDN – 0.011DFDA + CRA	0.80	4.26
CMS = 3.81 + 1.66GDP + 0.047PM – 0.007AOL – 0.029DMS – 0.012DPC + 0.019DFDN – 0.012DFDA + CRA	0.80	5.59
CMS = 3.87 + 1.73GDP + 0.046PM – 0.935AOLg – 0.007AOL – 0.029DMS – 0.010DPC + 0.019DFDN – 0.012DFDA + CRA	0.80	7.05

¹Criterio Cp de Mallows.

² CMS, consumo de materia seca; GDP, promedio de ganancia diaria de peso; PM, peso metabólico en la mitad de la prueba, DMS, digestibilidad de la materia seca; DFDN, digestibilidad de la fibra en detergente neutro; DFDA, digestibilidad de la fibra en detergente ácido; DPC, digestibilidad de la proteína; AOL, área del músculo Longissimus, en la mitad de la prueba; AOLg, ganancia en área del músculo Longissimus (cm²/día); CRA, consumo residual de alimento, corresponde al término del error.

CAPÍTULO 8. Reseña histórica sobre el desarrollo de las pruebas de desempeño

Las pruebas de desempeño (PD), se consideran como punto de partida para implementar un programa de mejoramiento genético, ya que es una herramienta útil, además de “sencilla y de fácil aplicación”. Sin embargo, cuando se va a realizar por primera vez una prueba, también se puede considerar como punto de llegada o como meta alcanzada, si se analiza todos los aspectos logísticos y metodológicos, que son necesarios considerar, además del esfuerzo humano y recursos económicos, para lograr llevar a cabo una PD con éxito. El objetivo de este capítulo, es describir de una manera detallada todos los aspectos metodológicos considerados y dificultades que se presentaron en la implementación y desarrollo de las pruebas. Se espera que este material sea un recurso útil para investigadores y criadores que deseen desarrollar pruebas de desempeño con búfalos o vacunos de carne.

Cuando se va a implementar una prueba, surgen muchas preguntas. **Primero, ¿en qué lugar deben ser desarrolladas las pruebas?** Para responder esta pregunta se deben considerar varios aspectos. **La ubicación**, aspecto fundamental y en gran medida determina el éxito. Se debe considerar su cercanía a las fincas de donde provendrán los animales (facilita el envío de estos con un transporte más seguro y menos costos), pero también es importante considerar la ubicación de las personas encargadas del desarrollo de las pruebas (facilita la planificación y control de las diferentes actividades). Otros aspectos importantes para tomar la decisión sobre la ubicación, son la seguridad, máxime si se considera que se van a tener animales ajenos; vías de acceso, aspecto clave, no sólo para el ingreso y salida de los animales, sino por la posibilidad de realización de visitas por parte de los dueños de los animales, realización de días de campo y actividades académicas, como prácticas y formación de estudiantes (pasantías y tesis), aspecto clave si las pruebas van a ser coordinadas por la Universidad. **La extensión** del terreno y para esto se deben responder varias preguntas: cuantos animales se van a evaluar en cada prueba?, las pruebas se van a realizar en pastoreo o confinamiento?, estas dos preguntas determinan la extensión.

La zona de vida, ya que esta debe ser apropiada para los animales que se van a probar, en este caso búfalos. Se deben tener condiciones similares a las que tienen en sus lugares de origen? o podrán los búfalos adaptarse a condiciones diferentes?, son las primeras preguntas que surgen para tomar esta decisión. Otros aspectos importantes a considerar son la precipitación y distribución de las lluvias (especialmente si la base de la dieta es una especie forrajera cosechada en el sitio); la posibilidad de implementar riego, necesario en épocas de sequía para tratar de mantener la producción y calidad de forraje lo más constante posible. **La topografía y fertilidad de los suelos**, determinante en la producción de forrajes, siendo la topografía importante principalmente si los animales van a ser manejados en pastoreo.

Segundo, ¿las pruebas deben ser realizadas en pastoreo o confinamiento?. Esta pregunta se puede responder desde dos enfoques. Desde el punto de vista de mejoramiento genético, siendo importante analizar la posible interacción genotipo ambiente y el control de las variables ambientales, que determinan en gran medida la duración de la prueba, aspectos que fueron discutidos en el capítulo 1. Desde el punto de vista práctico, resultan preguntas como ¿los búfalos tendrán un buen desempeño manejados en confinamiento?, ¿cómo debe ser el piso, de tierra o cemento?, ¿necesitan cama y cuál será la ideal?, ¿teniendo en cuenta que los búfalos son gregarios, será posible manejarlos en corrales individuales? ¿con qué material deben ser construidos los corrales?; preguntas difíciles de responder, teniendo en cuenta que en el país no se tiene experiencia en el manejo de búfalos en confinamiento.

Tercero, ¿cuál debe ser la dieta a utilizar?. Igualmente esta pregunta se puede responder desde dos puntos de vista. Desde el mejoramiento genético, existen dos posiciones contrarias 1. La dieta debe ser adecuada para establecer correctamente la habilidad de los animales para ganar peso, ya que si se limitan las condiciones ambientales, como una baja oferta alimenticia, se hace más difícil encontrar variabilidad genética. 2. Las dietas no deben divergir ampliamente de las que se utilizará en la descendencia de los animales probados. Este aspecto fue discutido en el capítulo 1. Desde el punto de vista práctico, surgen varias preguntas, ¿cuál será la especie forrajera más apropiada para establecer?, ¿cuánta área?, ¿cómo hacer la preparación

del terreno?, ¿cuál será el programa de fertilización adecuado?; preguntas que deben ser respondidas teniendo en cuenta aspectos técnicos y económicos.

Después de responder las preguntas anteriores y tomar las decisiones correspondientes, se debe proceder a la adecuación de la infraestructura (pasturas y corrales). Pero este es solo el primer paso, después del cual surgen otras preguntas sobre la forma de conducir las pruebas. Preguntas sobre las características que deben ser medidas, la frecuencia de las mediciones, la duración de la prueba, la duración del período de adaptación. Para darle respuesta a estas inquietudes, fue necesario hacer una profunda revisión de la literatura disponible sobre metodologías utilizadas en las PD, consultar con expertos y realizar visitas a instituciones donde llevaran a cabo PD.

Aún con las respuestas a todo lo anterior no fue suficiente. Todavía quedaba pendiente como conseguir los animales participantes en las pruebas, surgiendo más preguntas sobre las condiciones que debían cumplir los animales, las condiciones que debían cumplir las fincas, cuál sería la forma más adecuada de involucrar a los ganaderos y sobre cuáles serían los compromisos de los ganaderos y de los coordinadores de las pruebas. Para responder estas preguntas fue necesario socializar el proyecto aprovechando diferentes eventos, realizar visitas a las fincas, hacer un reglamento y firmar convenios con los ganaderos.

Una vez finalizadas las pruebas, fue necesario definir un índice para seleccionar los búfalos con mejor desempeño productivo y posteriormente coleccionarles semen. Esto conllevó a otra serie de preguntas sobre la metodología adecuada para la colecta, forma de entrenar los búfalos, sobre el maniquí ideal, entre otras; siendo necesario realizar una serie de ensayos para lograr cumplir con este objetivo.

Si se analiza todo lo que involucra implementar, desarrollar y culminar una prueba de desempeño con éxito, se puede afirmar que este no es un punto de partida, sino una meta alcanzada.

A continuación se presenta la metodología que se implementó para desarrollar las primeras pruebas de desempeño para búfalos en Colombia, con la que se trató de dar respuesta a todos los interrogantes planteados anteriormente.

1. Ubicación

Teniendo en cuenta que el desarrollo de las PD hacía parte de un proyecto financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y que iba a ser coordinado por la Universidad de Antioquia, estas deberían ser ejecutadas en uno de los predios de esta institución. Por lo tanto, se contó con dos opciones, Centro Experimental La Candelaria, ubicada en Caucaasia en una zona de vida de bosque húmedo tropical y El Progreso, ubicado en el municipio de Barbosa, en una zona de vida de bosque húmedo subtropical, ambos en el departamento de Antioquia. El primer centro contaba con varias ventajas, como su ubicación cerca de muchas de las explotaciones bufaleras que participarían, lo cual facilitaría el transporte de los animales, además de estar ubicada en una zona de vida similar, lo cual beneficiaría la adaptación de los búfalos. Otra ventaja es que se contaba con un área grande que permitiría realizar las pruebas en pastoreo, además de estar ya establecidas en pasto, por lo tanto se podría iniciar más rápidamente con las pruebas, además de incurrir en menos costos. Como limitantes presentaba problemas de seguridad en la zona, la distribución de lluvias (presencia de épocas de sequía intensa) y estar retirada para realizar las mediciones y llevar un buen control.

La gran ventaja del Centro El Progreso, fue su cercanía a Medellín, lo que facilitaba la toma de información, control de los animales, planificación de visitas y actividades académicas con estudiantes de diferentes universidades; ventaja que se tuvo en cuenta para elegir este Centro. Otras dos ventajas fueron las vías de acceso, finca ubicada a orillas de una carretera en excelente estado y estar en una zona con buena distribución de lluvias a lo largo del año. Sin embargo, contaba con desventajas como su pequeña extensión, suelos de baja fertilidad y pedregosos, mal estado de las cercas y no contaba con una especie forrajera establecida.

En todo proyecto por bien diseñado que sea, hay que contar con imprevistos y en este caso, aunque se hizo un análisis exhaustivo para tomar la decisión del sitio adecuado, los imprevistos surgieron por donde menos se esperaba. Se tuvieron varias dificultades al momento de desembarcar los búfalos, como camión inmovilizado por la presencia de humedad en el suelo, siendo necesaria la intervención, además de varios estudiantes y

profesores, de dos grúas. Dos búfalos derrotados, uno por la carretera y otro por los potreros, siendo necesaria la utilización de un búfalo guía (amaestrado), de cuatro mototaxis y de un camión, para conducirlos a las instalaciones. Otra dificultad que se presentó, fue la desaparición de un búfalo durante varias horas, teniendo en cuenta el área tan pequeña, se llegó a pensar que había sido hurtado. Después de una búsqueda intensa, se encontró dentro de un pozo séptico que no había sido usado por muchos años (se desconocía su existencia), siendo necesario recurrir a los bomberos para rescatarlo, afortunadamente sin ningún trauma.

Otro de los imprevistos fue la sequía intensa que ocurrió durante el primer semestre del año 2010, coincidiendo con la ejecución de la segunda prueba. Esta condición afectó negativamente la producción y valor nutricional del pasto, por lo tanto el desempeño productivo de los búfalos. Una de las justificaciones para seleccionar El Progreso, fue precisamente estar ubicado en una zona donde no se tendría problemas de sequía, de nuevo sucedió algo inesperado.

1. Sistema de manejo: confinamiento vs pastoreo

Se optó por hacer las pruebas bajo confinamiento, básicamente por tres razones: 1. Se tenía un mayor control de las condiciones ambientales, lo que favorecería la identificación de la variabilidad entre animales y esto permitiría hacer pruebas de menor duración. 2. Permitía evaluar características de gran importancia como consumo, conversión y digestibilidad de nutrientes. 3. Teniendo en cuenta la baja disponibilidad de tierra en El Progreso, la única forma de probar un buen número de animales era en confinamiento. Una vez tomada esta decisión se procedió a la adecuación de la infraestructura (establecimiento de pasturas y construcción de corrales), la cual se describe a continuación.

2.1 Establecimiento de pasturas

La primer pregunta fue sobre la especie establecer. Se necesitaba una especie que se adaptara a las condiciones edáficas y climáticas que se tenían, presentara alta producción de biomasa, de rápido establecimiento, de fácil cosecha, tuviera un valor nutricional bueno y fuera bien consumida por los animales. Después de analizar las

posibles especiés, se optó por sembrar Maralfalfa (*Pennisetum sp*), principalmente por su alta producción de biomasa, fácil consecución de la semilla y por ser un pasto de corte, facilitaba su cosecha. Pero como no existe el “pasto milagro”, esta especie tenía un limitante, su medio a bajo valor nutricional, pero con una edad de corte adecuada y aplicación de materia orgánica, sería posible mejorarlo. Sin embargo, es importante anotar que se buscaba obtener una dieta de valor medio, semejante a los pastos que predominan en los sistemas de producción de carne en el país, para evitar una posible interacción genotipo-ambiente.

Se establecieron tres hectáreas de Maralfalfa, las cuales serían suficientes para alimentar alrededor de 35 animales. El sistema de siembra fue manual, dadas las condiciones del terreno (presencia de piedras). Inicialmente para controlar el material vegetal presente (gramas nativas y algunas arvenses), se utilizó un herbicida de contacto no selectivo cuyo principio activo fue Glifosato, a una dosis de tres litros por hectárea. Esto con el fin de facilitar la realización de los surcos, hoyos y evitar la competencia, asegurando un rápido establecimiento del pasto. Posteriormente se hicieron los surcos a lo largo del terreno con una profundidad aproximada de 7cm, 13cm de ancho y con una separación entre surcos de 45cm. Posteriormente, se realizó la siembra con semilla vegetativa, la cual fue seleccionada por presentar un buen diámetro, tener yemas y una longitud de 80 cm aproximadamente. La semilla se dispuso en forma de traslape a lo largo de los surcos y se cubrió con la misma tierra que quedó al realizar los surcos. Se evitó colocar terrones muy grandes al cubrir la semilla, ya que estos podían impedir la penetración de la luz y la germinación de la semilla (Figura 1). Se aplicaron dos toneladas de gallinaza y una tonelada de cal magnésica. Se realizó una fertilización química 30 días después de la siembra, con el objetivo mejorar el establecimiento y aumentar la productividad forrajera.

Una vez establecida la pastura, se realizaron aforos a diferentes días de rebrote, para estimar la producción de biomasa y determinar la edad de corte apropiada. Los cortes se realizaron cada 60-70 días, dependiendo de la época. La fertilización de mantenimiento fue gallinaza a una dosis de 1500 kg/ha y un fertilizante químico (31-8-8)

a una dosis de 200 kg/ha, aplicados a los 5 y 20 días después del corte, respectivamente.

Coordinar el inicio de las pruebas de desempeño, con el inicio de la utilización de la pastura en su momento óptimo, fue realmente imposible. Antes del ingreso de los primeros animales, se obtuvo una alta producción de pasto, siendo necesario cosechar una gran parte para evitar que se semillara y se deteriorara. Se realizaron ensilajes en bolsas para conservarlo, pero debido al alto contenido de humedad, mala compactación y presencia de roedores, no se presentó un adecuado proceso de fermentación, conllevando a una pudrición del material. El pasto que no se ensiló, se utilizó como cama de los búfalos y otra parte se regaló. Todas estas actividades demandaron mucho trabajo por parte de los estudiantes colaboradores, además de los costos incurridos (Figura 2).



Figura 1. Establecimiento manual del pasto Maralfalfa (*Penisetum sp*) en el Centro Experimental El Progreso

Adicionalmente, se estableció sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) en una hectárea. El proceso de fumigación, arado y fertilización fue similar al utilizado en la siembra del pasto Maralfalfa. La siembra fue con semilla sexual, utilizando aproximadamente 30 kg de semilla sexual (incluida la resiembra), la cual se realizó 8 días después de la siembra, con el fin de llenar los espacios que quedaron despoblados de plántulas, para aprovechar al máximo el terreno y lograr una mayor producción de forraje por unidad de área. La siembra se realizó a chuzo, colocando 3 semillas por orificio con una distancia de 10cm entre éstos (Figura 3).



Figura 2. Ensilaje del pasto Maralfalfa (*Penisetum sp.*).

El sorgo se estableció con el fin de conservarlo en forma de ensilaje, para suministrarlo a los búfalos en caso de que la Maralfalfa producida no fuera suficiente. Se presentaron varios inconvenientes: 1. No quedó bien establecido, alcanzando una cobertura solo del 60% del terreno. 2. El ensilaje se realizó tarde, debido a la dificultad en la disponibilidad de mano de obra. 3. Se realizó un ensilaje de montón en el potrero, corriendo el riesgo

de que fuera dañado por los animales. Teniendo en cuenta lo anterior, este ensilaje fue utilizado en la alimentación de las cabras pertenecientes a otro proyecto de la Universidad de Antioquia, financiado por el Ministerio de agricultura y Desarrollo Rural.

Al final de este proceso se obtuvo un área establecida en diferentes especies de pastos que existían anteriormente y que habían sufrido un proceso de degradación. La remoción del terreno y la aplicación de enmiendas favoreció el crecimiento de especies como Estrella (*Cynodon nlemfluensis*), *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria humidicola* y Uribe (*Hyparrhenia rufa*). Esta área fue de gran utilidad ya que se utilizó en el pastoreo de los animales de la prueba (“horas de recreo”) y de tres búfalos que se utilizaron para realizar un experimento relacionado con la digestibilidad de nutrientes.



Figura 3. Establecimiento manual sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) en el Centro Experimental El Progreso.

2.2 Construcción de corrales

Para el alojamiento de los animales se dispuso de dos losas de concreto con un área de 559 m² (43 m de largo y 13 m de ancho), las cuales se usaban anteriormente para alojar aves de postura. Sobre cada una de estas, se ubicaron 19 corrales individuales, con dimensiones de 2 m de ancho y 8 m de largo, para un total de 16 m² por individuo. En la losa superior fue acondicionado un espacio cubierto por fibro-cemento, donde se instaló la picapasto. En la losa inferior se instaló el brete-báscula, para realizar los pesajes, mediciones bovinométricas y de ultrasonido (Figuras 4 y 5).

En la Figura 4, se puede apreciar un área de color violeta claro que representa una cobertura lineal compuesta por tejas de eternit de 2.5 m, las cuales protegían los comederos y bebederos del sol y del agua, además de brindar algo de sombra a los animales. Los comederos, representados con una línea azul, estaban compuestos por dos medias canecas de un metro de longitud cada una. Los bebederos estuvieron ubicados de forma transversal a la losa, debajo de la línea de cubierta. Estos tenían una válvula para regular el ingreso del agua. Se contó con un bebedero para dos corrales.

Para la construcción del cerramiento se trabajó con guayas de ¼ de pulgada, con el fin de disminuir costos y por ser de gran flexibilidad, permitiendo adecuar el tamaño de los corrales, según las necesidades. Inicialmente las instalaciones se realizaron con tres cuerdas de guaya, pero no fue suficiente para contener los búfalos, siendo necesario colocar una cuerda de alambre eléctrico adicional. Las guayas presentaron algunos inconvenientes, era frecuente que los animales las destemplaran y reventaran, siendo necesario arreglarlas permanentemente. Adicionalmente, para evitar accidentes con los búfalos, todos los extremos de las guayas se amarraron con neumáticos.

En el área que no quedó cubierta por techo, se utilizó una polisombra con el fin de disminuir la intensidad lumínica, ya que los búfalos son muy sensibles al calor y no contaron con lagunas que les ayudara a la termorregulación. Además para brindar un mayor confort a los animales, se dispuso un área de descanso de 10.000 m², en donde los búfalos pudieron hacer ejercicio y disminuir el estrés ocasionado por el confinamiento.

Una de las inquietudes grandes que se tuvieron con las instalaciones, fue si los búfalos soportarían cuatro meses en piso de cemento, sin sufrir deterioro de los miembros inferiores, especialmente hacia el final de la prueba, donde los animales tenían mayor peso. Durante la primera prueba se utilizaron los tallos del pasto que se alcanzó a lignificar, los cuales se cortaban y se dejaban secar en el potrero. La cama se cambiaba semanalmente y en el transcurso de la semana, se agregaba más material en los sitios más húmedos y sucios (Figura 6). Esta labor implicó alta mano de obra, incurriendo en altos costos. Adicionalmente, una vez empezadas las pruebas fue posible programar los cortes del pasto, por lo tanto, no se contó con más material para la cama. Cuando se inició la segunda prueba, se tomó la decisión de retar los búfalos a no utilizar cama, observando permanentemente para detectar cualquier problema. Afortunadamente, los búfalos se adaptaron a estas condiciones, pudiendo realizar tres pruebas sin utilizar cama, disminuyendo sustancialmente el trabajo y los costos.

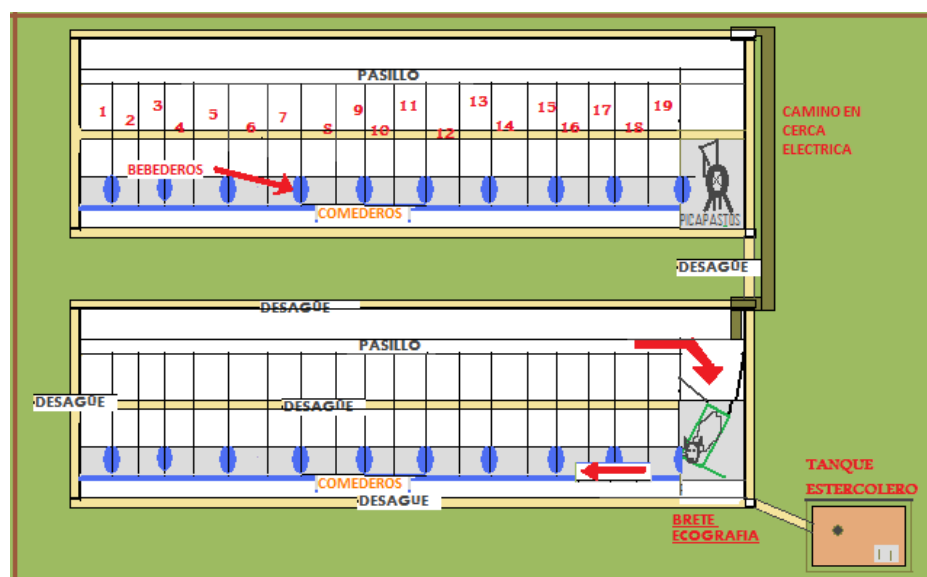


Figura 4. Esquema de los corrales donde fueron confinados los búfalos durante las Pruebas de Desempeño.



Figura 5. Corrales de alojamiento para los búfalos, brete báscula y tanque estercolero



Figura 6. Uso de cama (pasto lignificado y seco) durante la primera prueba de desempeño

Cada una de las losas contó con canaletas de desagüe, las cuales rodeaban las placas y depositaban las aguas negras en un tanque estercolero construido con el fin de utilizar las heces de los animales, como abono orgánico en las pasturas. La capacidad de almacenamiento del tanque fué de 9 m³ (Figuras 4 y 5). Se tuvieron varias dificultades en la utilización de este tanque: 1. Cuando se presentaban lluvias fuertes, toda el agua de esorrentía llegaba finalmente al tanque, por lo tanto si esta era utilizada en los potreros, el aporte de materia orgánica era mínimo. 2. En el caso contrario, cuando las heces estaban demasiado secas, era muy complicado mezclarlas y bombearlas al potrero, demandando mucho tiempo e incurriendo en altos costos. 3. La longitud de las mangueras solo permitían el riego de los potreros cercanos. Teniendo en cuenta estas situaciones, se optó por hacer un manejo diferente de las heces. Estas eran colectadas secas, se compostaban y posteriormente se regaban en los potreros utilizando una yegua y cajones adecuados para el transporte de heces.

Otra adecuación de infraestructura que se realizó fueron las cercas, para lo cual se evaluaron las dos posibilidades, de púa o eléctrica. Se seleccionó la segunda opción por ser de menor costo.

2. Elaboración del reglamento de las pruebas de desempeño

Al mismo tiempo que se adecuaba la infraestructura, fue necesario elaborar un reglamento, el cual fue aprobado por el Comité Técnico de la Asociación Colombiana de criadores de Búfalos (ACB). El reglamento tuvo como objetivo indicar los lineamientos que se debían tener para la realización de las pruebas de desempeño. Se describieron los requisitos que debían cumplir las bufaleras y los animales participantes, los compromisos de los criadores, la estructura de las pruebas de desempeño, la metodología para el desarrollo de estas y el sistema de clasificación.

3. Firma de los Convenios con los propietarios de los búfalos participantes de las Pruebas de desempeño

Con base en el reglamento, se elaboró un convenio de cooperación entre la Universidad de Antioquia (Facultad de Ciencias Agrarias) y cada uno de los propietarios de los animales participantes de las Pruebas de Desempeño. Cada uno de estos convenios fueron aprobados por el departamento de jurídica de la Universidad de Antioquia (Anexo 2)

4. Dieta

La dieta consistió en pasto Maralfalfa (*Pennisetum* sp.) fresco a voluntad, más dos kg de un concentrado por día. El concentrado fue elaborado en el Centro Experimental La Montaña propiedad de la Universidad de Antioquia. Se propuso que la dieta tuviera un valor nutricional similar a la de un pasto de media calidad, lo cual se justificó anteriormente. Aunque se trató de

ser muy estricto en el manejo del pasto, en la edad de corte, fertilización orgánica y química, la composición bromatológica del pasto varió constantemente, debido a las condiciones climáticas. Lo ideal durante el desarrollo de una PD es mantener la dieta constante, lo cual es poco probable alcanzar, cuando se trabaja con forraje fresco. Para próximas pruebas sería recomendable utilizar dietas totalmente mezcladas y homogenizadas, aunque también debe ser considerado el costo.

5. Manejo de los animales

Muchas dudas se tenían sobre el manejo de los búfalos. Preguntas tan sencillas, pero a la vez tan importantes surgieron, desde como desembarcar los animales, como acostumbrarlos a la nueva dieta, como amansarlos, como organizarlos en los corrales. El búfalo se ha caracterizado por ser un animal de temperamento delicado y tranquilo, sin embargo, la falta de experiencia en el manejo de esta especie y el hecho de provenir de sistemas de producción tan diversos, suscitaron a dudas y un poco de nervios a la hora de manejar los animales.

Sólo se van a mencionar algunos aspectos claves de manejo que, en gran parte, conllevaron a que las pruebas culminaran con éxito. El primer aspecto, fue el trato; los animales siempre fueron manejados con delicadeza, sin gritos, ni golpes. El búfalo es un animal muy sensitivo, curioso e inteligente, facilitando una rápida compenetración entre los animales y los estudiantes que estuvieron a cargo de ellos y el operario. El segundo aspecto, fue la forma de acostumbrarlo a la dieta; estos animales eran manejados en pastoreo y no habían recibido concentrado. Al principio fue necesario suministrar parte del pasto sin picar, consumiendo estos de manera muy selectiva solo las hojas; el concentrado no lo probaban, era necesario suministrar pequeñas cantidades sobre el pasto. Sin embargo, rápidamente aprendieron a consumir el pasto picado y el concentrado, con solo ver el balde en el que se les proporcionaba el suplemento, se desesperaban, trataban de salirse del corral, siendo necesario suministrarlo rápidamente. Una forma de estimular el consumo, fue el suministro frecuente del alimento y en pequeñas cantidades para evitar el desperdicio. El tercer aspecto, fue bañarlos, esto sirvió para la termorregulación, además de favorecer su amansamiento. El cuarto aspecto, proporcionarles diariamente dos horas de “recreo”, el

cual consistió en salir a pastoreo, excepto los días en que realizaban las mediciones de consumo, a una pequeña área. Esto permitió que los animales disminuyeran el estrés, corrieran y compartieran en grupo, lo cual es importante para esta especie.

Los animales se amansaron de tal forma, que respondían por su nombre, algunos permitían montarlos sobre el dorso o simplemente se acostaban para que los consintieran (Figura 7).



Figura 7. Aspectos a destacar en el manejo de los búfalos y docilidad de estos animales

6. Conducción de las pruebas

Teniendo en cuenta que el búfalo en Colombia es manejado bajo dos sistemas de producción, doble propósito (DP) y cría sin ordeño (CSO), se realizaron pruebas de desempeño para animales provenientes de los dos sistemas, de manera independiente. Se realizaron dos pruebas para animales DP y otras dos para animales de CSO. Para desarrollar las pruebas, fue necesario considerar muchos aspectos importantes, como la duración adecuada que permitiera la identificación de los mejores animales, duración del período de adaptación para que los animales se acostumbraran al nuevo sistema de manejo, a la dieta y a las condiciones climáticas; la edad y peso inicial de los animales, las características a evaluar y la frecuencia de las mediciones; la raza de los animales (¿deberían ser puros o se podría evaluar también animales cruzados?); la escogencia de los animales que debían participar en las pruebas y el número de animales por prueba.

Después de un análisis intenso, de consultar la metodología utilizada en diferentes países, consultar con expertos y realizar visitas a estaciones experimentales de Brasil, donde han realizado pruebas por muchos años, se optó por la siguiente metodología.

Las pruebas tuvieron una duración de 120 días en promedio, de los cuales 28 fueron de adaptación. Las mediciones se realizaron cada 14 días. Las características evaluadas fueron peso, medidas de ultrasonido (área del músculo *Longissimus dorsi* y espesor de la grasa en la cadera), medidas bufalométricas (circunferencia escrotal, longitud corporal, perímetro torácico, altura a la cruz, altura al sacro y las distancias ilion-ilion, ilion-isquion e isquion-isquion, consumo de alimento y digestibilidad de nutrientes (Figura 8). Para realizar de manera confiable las medidas de ultrasonido, fue necesario tomar dos cursos intensivos de ultrasonido, además de realizar numerosas prácticas.

Los búfalos provenientes de CSO, ingresaron con una edad promedio de 285 y 306 días a la primera y segunda prueba, respectivamente. Los animales DP ingresaron a una mayor edad (426 y 484, en la primera y segunda prueba). La diferencia de edad entre los dos sistemas, se debe a que las búfalas son animales estacionarios, ocurriendo el mayor porcentaje de partos entre agosto y noviembre. Los búfalos participantes en la primera prueba (animales CSO) y segunda prueba (animales DP)

nacieron en la misma temporada de partos (durante los meses de septiembre, octubre y noviembre del 2008). Los búfalos participantes de la tercera (animales CSO) y cuarta prueba (animales DP), nacieron durante los meses de septiembre, octubre y noviembre de 2009.

Aunque los animales ingresaron con edades similares a cada una de las pruebas, el peso inicial varió ampliamente. Los búfalos CSO ingresaron a sus pruebas de desempeño con una máxima diferencia de edad de 73 y 68 días, para la primera y segunda prueba, respectivamente, pero la diferencia para su peso inicial fue de 91 kg en la primera prueba (pesos entre 215 y 306 kg); la diferencia en la segunda prueba fue de 80 kg (pesos entre 254 y 334 kg). Similarmente, los búfalos DP ingresaron con una diferencia máxima de edad de 77 y 115 días, respectivamente, sin embargo su peso inicial osciló entre 170 y 322 kg (primera prueba) y entre 210 y 465 kg (segunda prueba). El peso inicial presentó una mayor variación en los animales DP, debido a los diversos sistemas de manejo de ordeño que se presentan en estos sistemas de producción.

Para disminuir la variación del peso al inicio de las pruebas, además de ingresar con edades similares, se realizó una pre-selección de los animales participantes con base en sus desempeños en los respectivos grupos contemporáneos en las fincas. Para las pruebas CSO, se tuvo en cuenta el peso al destete. Para las pruebas DP, se tuvo en cuenta la producción de leche de la madre (búfalas pertenecientes al programa de control lechero) y el peso al destete.

Con respecto a la raza de los animales, aunque tradicionalmente en las pruebas solo participan animales de razas puras, en las primeras pruebas para búfalos en Colombia, participaron tanto animales puros, como cruzados. La razón para ello fue que la población de animales puros en Colombia es muy baja, además se debía cumplir con otra serie de requisitos, como ser socios de la ACB, estar a paz y salvo con la asociación, ser libre de brúcela y tuberculosis, además de cumplir con el requisito de la edad.

En las cuatro pruebas de desempeño se evaluaron un total de 122 búfalos, 45 provenientes de sistemas de cría sin ordeño y 77 provenientes de sistemas doble propósito. Estas pruebas permitieron seleccionar los mejores animales utilizando un índice de selección que involucró peso, área del ojo del lomo y espesor de grasa de la cadera, además de una evaluación lineal.

7. Certificado de los búfalos participantes en las pruebas

Al finalizar las pruebas, se realizó un certificado para cada uno de los búfalos participantes, en cual se presentó la información del animal (identificación, padre, madre, finca y criador), el peso, las medidas de ultrasonido y bufalométricas obtenidas al final de la prueba y el índice de clasificación obtenido. El certificado fue entregado a cada uno de los ganaderos. Igualmente, se realizó un certificado de los búfalos ganadores que se les pudo coleccionar semen, con la información del animal, número de pajillas, análisis molecular y estado sanitario (Anexo 3).

8. Colecta de semen

De los 122 animales probados en las cuatro pruebas de desempeño, fueron seleccionados para coleccionarles semen, 17 búfalos (7 provenientes de SCO y 10 de DP) con los índices de clasificación más altos. A estos búfalos se les realizó pruebas sanitarias para rinotraqueitis infecciosa bovina, leucosis, triconomas, brucelosis, diarrea viral bovina, leptospira, parainfluenza, aftosa, estomatitis vesicular, tuberculosis y campilobácter. Estos análisis fueron realizados en el laboratorio del ICA en Medellín y Bogotá. Debido algunos problemas con el ICA, fue necesario utilizar adicionalmente un laboratorio particular. Iniciar este proceso, también fue complicado debido a dudas que se tenían sobre los análisis que debían realizarse para certificar estos animales como donadores y sobre las metodologías utilizadas para el diagnóstico de estas enfermedades. Las metodologías están estandarizadas para vacunos, pudiéndose presentar problemas en la aplicación en los búfalos, duda que aún persiste. Al respecto, actualmente se está trabajando en un convenio entre la ACB y el ICA, pero únicamente para brucelosis y tuberculosis.

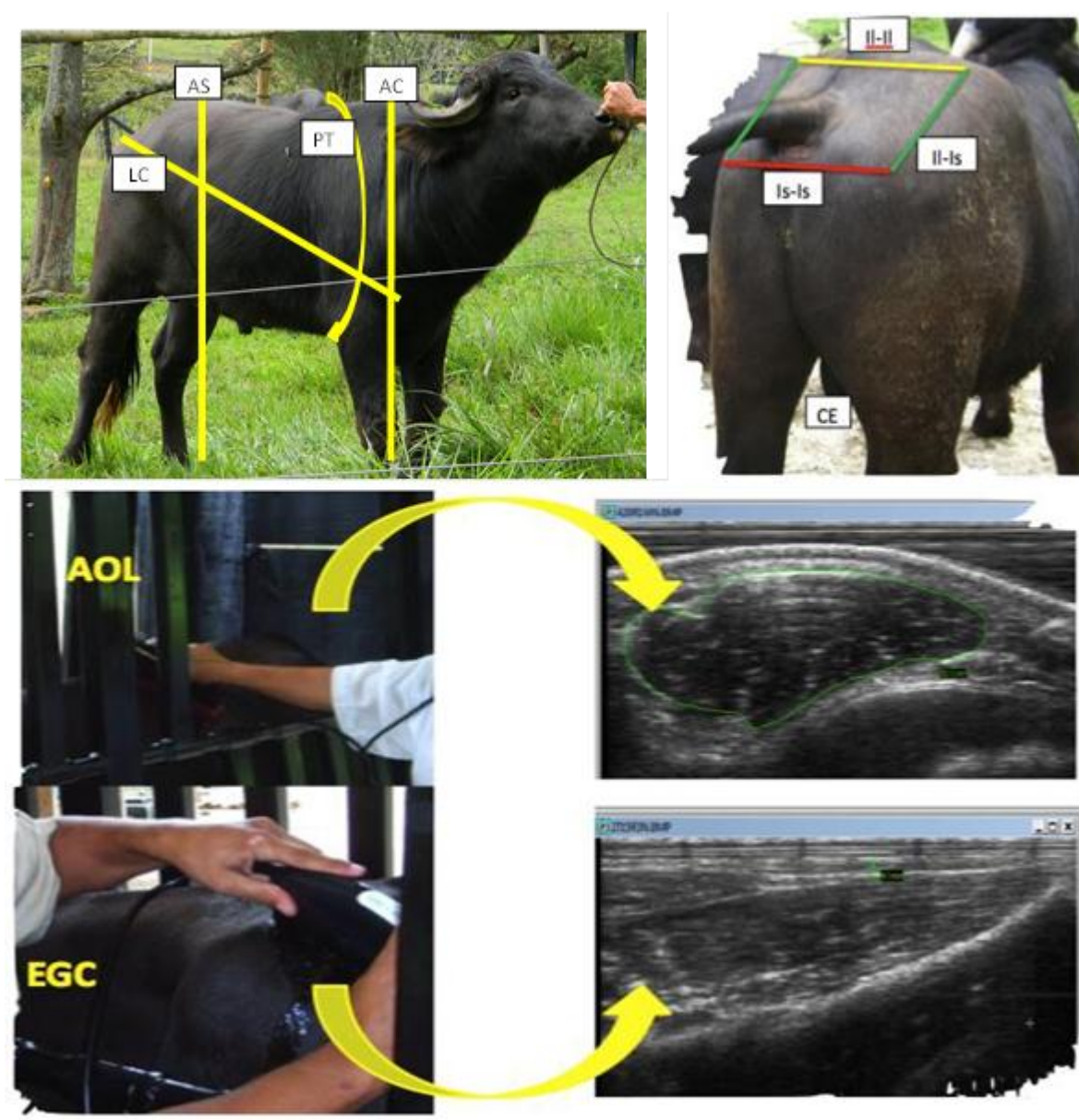


Figura 8. Medidas bufalométricas y de ultrasonido tomadas en las pruebas de desempeño.

Para este proceso fue necesaria la construcción de un brete de recolección y hacer pequeños corrales en el potrero para mantener los donadores separados, con el objetivo de estimular su apetito sexual. Los búfalos fueron entrenados para la colecta semen. Inicialmente se argollaron, posteriormente se les enseñó a cabrestear y por último a saltar. Aunque suena sencillo, fue un proceso largo y complicado. Fue

necesario observar su comportamiento sexual y hacer muchos ensayos, antes de encontrar la metodología adecuada para su colecta. Amansarlos completamente, fue un proceso sencillo, pues durante el desarrollo de las pruebas, se avanzó bastante en ello. El problema fue enseñarlos a saltar, estos animales son muy inteligentes, sensitivos y nerviosos, conllevando a que se intimidaran por la presencia de personas desconocidas y la de otros búfalos. Inicialmente, se trató de colectar con vagina artificial, utilizando una búfala (sincronizada), algunos se estimulaban, pero en el momento de cubrir la hembra, miraban a su alrededor y se arrepentía, prefiriendo eyacular después solos en el corral. Otros no se estimulaban lo suficiente para saltar y otros saltaban pero no eyaculaban.

Debido a los pobres resultados, se tomó la decisión de utilizar electroeyaculador. Pero antes de intentarlo, fue necesario consultar con expertos en reproducción de búfalos, sobre la pertinencia de utilizar esta metodología. Diferentes posiciones fueron encontradas, mientras que unos decían que no existía problema alguno, otros afirmaban que su uso era demasiado traumático para los búfalos, debido a su alta sensibilidad a la electricidad. Una vez tomada la decisión de ensayar con esta metodología, surgió otra pregunta sobre la potencia que se debía utilizar, optando por utilizar la misma que en vacunos. El electroeyaculador se utilizó una sola vez en dos animales, obteniendo por fin semen, pero en poca cantidad. Por falta de conocimiento se asumió que este bajo volumen de eyaculado (1.5 y 2 ml) no era normal y se decidió de nuevo utilizar la vagina artificial. Se inició nuevamente el entrenamiento con vagina, obteniendo buenos resultados. Algunas de las razones para ello fueron: 1. Colecta a tempranas horas de la mañana, cuando la temperatura incrementaba, los animales no tenían buen desempeño sexual; 2. Utilizar además de la hembra, otros búfalos machos como maniqués, la mayoría de los búfalos se estimulaban más con otros machos, pero este gusto era diferencial (cada uno tenía un maniquí preferido). 3. Evitar la presencia de personas que no fueran cercanas a los búfalos y estar en silencio (Figura 9). Fue necesario realizar un alto número de colectas para obtener buena cantidad de dosis, debido a que el volumen de eyaculado de los búfalos, independiente de la metodología, es bajo.

De los 17 búfalos seleccionados, se pudo colectar semen a 11, siendo 5 provenientes de CSO y 6 de sistemas DP. Finalmente, se lograron colectar 3398 dosis, semen que será distribuido en bufaleras ubicadas en diferentes zonas del país. Con la identificación de los mejores búfalos como reproductores y la distribución de su semen en diferentes fincas, se conformará la base para desarrollar a futuro pruebas de pro genie. De esta forma los búfalos en Colombia tendrán montada una estructura adecuada para realizar evaluaciones genéticas con buena precisión.



Figura 9. Colecta de semen a los búfalos ganadores de las pruebas de desempeño.

CONSIDERACIONES FINALES

En esta investigación se desarrollaron las primeras PD para búfalos en Colombia, en las cuales se evaluaron un total de 122 animales, 45 provenientes de sistemas de cría sin ordeño (CSO) y 77 provenientes de sistemas doble propósito (DP). Estas pruebas permitieron seleccionar los mejores animales utilizando un índice de selección que involucró peso, área del ojo del lomo y espesor de grasa de la cadera, además de una evaluación lineal. De los animales probados, fueron seleccionados 17 búfalos con los índices de clasificación más altos, pudiéndose colectar semen a 11; semen que será distribuido en bufaleras ubicadas en diferentes zonas del país.

Los datos obtenidos en las PD, también permitieron analizar las curvas de crecimiento con base en el peso, área del ojo del lomo (AOL), espesor de la grasa de la cadera (EGC), perímetro torácico (PT), altura a la cruz (AltC) y altura la sacro (AltS), utilizando modelos mixtos incluyendo la matriz de relaciones. El crecimiento es uno de los factores de mayor importancia económica en los sistemas de producción de carne. La incorporación de efectos aleatorios en los modelos, permitió contemplar la variabilidad entre las curvas de los individuos que participaron en las pruebas de desempeño, encontrando grandes diferencias entre individuos. Esta información es útil en los programas de mejora genética, ayudando en la elección de animales con mayor precocidad de crecimiento, sin alterar el peso adulto. Todas las características en los búfalos DP y EGC, AC y AS en CSO, presentaron un mejor ajuste al modelo de segundo orden. El peso, PT y AOL en CSO, se ajustaron a un modelo de primer orden. La tasa de incremento de AC y AS en los búfalos de CSO declinó al final de la prueba, mientras que las otras características no presentaron disminución. Los búfalos DP aceleraron la tasa de incremento para todas las características al final de la evaluación, presentando poco crecimiento durante los primeros 28 días de la prueba.

Teniendo en cuenta que los animales fueron evaluados bajo las mismas condiciones ambientales y la utilización de modelos mixtos para el análisis de los datos, fue posible indagar sobre la existencia de variabilidad fenotípica y genética para estas

características de crecimiento. Las varianzas genéticas estimadas para los coeficientes de regresión fueron diferentes de cero, sugiriendo que estas características pueden ser mejoradas genéticamente en Colombia. Se encontró alta variabilidad del intercepto entre los individuos, lo que puede ser explicado por las diferencias genéticas y ambientales entre fincas. Las varianzas de los coeficientes de la regresión lineal fueron pequeñas para todas las características, sugiriendo que, aunque la selección de animales dentro de estas pruebas es posible, los cambios esperados en la población de búfalos serán pequeños. Muestras más grandes de búfalos en las pruebas de desempeño y un mayor conocimiento de las condiciones ambientales predestete de los hatos y diferencias genéticas, pueden mejorar las PD en Colombia. Además, es importante evaluar de manera permanente la metodología utilizada para el desarrollo de las pruebas, para poder realizar los ajustes pertinentes y buscar un modelo adecuado y consolidado de pruebas para búfalos en Colombia.

Dado que en los experimentos que utilizan medidas repetidas en el tiempo, como en las PD, normalmente el supuesto de homogeneidad de varianzas no se cumple, se evaluaron nueve estructuras de varianzas residuales con los datos de crecimiento de la primera PD. Se observó heterogeneidad debido a la finca y al animal, lo cual es reflejo tanto del ambiente al cual fueron sometidos los animales antes de ingresar a la prueba, como al componente genético. Al analizar el peso eliminando el período de adaptación, se redujeron sustancialmente los residuales y se incrementó la ganancia de peso, mostrando la importancia de tener en cuenta este período para que los animales se adapten a las nuevas condiciones de manejo. No se obtuvo reducción de residuales para AOL y EGC cuando se eliminaron datos del período de adaptación. Las estructuras de varianza evaluadas no eliminaron completamente la heterogeneidad de varianzas, siendo importante continuar investigando en esta área, con el objetivo de desarrollar procedimientos alternativos que incorporen la heterogeneidad de varianzas, en el análisis de este tipo de experimentos.

En las PD se realizaron mediciones de consumo y digestibilidad de nutrientes permitiendo evaluar diferentes características de eficiencia alimenticia y sus relaciones con el desempeño productivo en búfalos. Se determinó la conversión alimenticia, el

consumo residual de alimento, la tasa relativa de crecimiento y la relación de Kleiber. Según los resultados encontrados, se puede afirmar que el consumo residual de alimento es una herramienta útil para identificar los búfalos más eficientes, sin alterar su desempeño productivo, pudiendo ser incorporado en los programas de mejoramiento genético. El peso metabólico y la ganancia diaria de peso, explicaron en gran medida la variación del consumo de materia seca. Sin embargo, la adición de medidas de digestibilidad, especialmente de materia seca, mejoró sustancialmente el modelo. No obstante, es importante anotar la dificultad que presenta la medición de esta variable, limitando su aplicación. Las medidas de ultrasonido no tuvieron impacto significativo sobre la predicción del consumo de materia seca.

En esta investigación, se realizaron las primeras evaluaciones genéticas, utilizando las bases de datos colectadas por la ACB y las fincas, para características reproductivas (edad al primer parto e intervalos entre partos) y características de producción de carne (peso al destete y peso a las 12, 18 y 24 meses), utilizando modelos unicaracterísticos y multicaracterísticos. También se estimaron los componentes de (co)varianza y parámetros genéticos para peso desde el nacimiento hasta los 900 días de edad, empleando modelos de regresión aleatoria. Según los resultados, se puede afirmar que existe variabilidad genética para edad al primer parto (EPP) y para los pesos a diferentes edades, sugiriendo que la selección por estas características es factible en la población de búfalos en Colombia. Con el análisis de regresión aleatoria se encontró que para peso a edades superiores a los 600 días, las varianzas genéticas directas y heredabilidades directas fueron mayores, por lo tanto se espera obtener una mayor eficiencia en la selección durante este período. La correlación genética encontrada entre los efectos directo y materno para PD, indicó un posible antagonismo entre genes para crecimiento y genes para habilidad materna, siendo importante tener en cuenta el efecto genético directo y el materno, para obtener un mayor progreso genético. Resultados diferentes fueron encontrados para IEP estimándose una heredabilidad muy baja, indicando que esta característica está muy influenciada por factores ambientales y genéticos no aditivos, además de una variación genética entre individuos prácticamente nula.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las pruebas de desempeño y las evaluaciones genéticas con las bases de datos existentes, se puede afirmar que existe variabilidad genética para características relacionadas con la producción de carne, requisito imprescindible para iniciar un programa de mejoramiento genético. Pero este es solo el inicio de un trabajo que debe ser permanente para poder obtener resultados y para ello es necesario contar con el compromiso de entidades del estado, investigadores y productores. Se requiere seguir consolidando los archivos zootécnicos y genealógicos, compromiso que debe ser asumido por los ganaderos y la asociación. Se tiene el reto de estimular a los productores para que su participación sea activa y se comprometan con la colecta de información de una manera oportuna y veraz, además de financiar los costos que conllevan la evaluación de cada animal en la PD, para poder continuar con el desarrollo de estas.

La selección de reproductores a partir de pruebas de desempeño, fue el punto de partida para realizar a futuro evaluaciones genéticas más complejas y precisas. Con la identificación de los mejores toretes como reproductores y la distribución de su semen en diferentes fincas, se conformó la base para desarrollar a futuro pruebas de progeñe. De esta forma, la población de búfalos en Colombia tendrá montada una estructura adecuada para realizar evaluaciones genéticas con buena precisión. Lo anterior, sumado a la utilización de las herramientas moleculares, permitirá el mejoramiento genético para características de crecimiento y canal, lo cual tendrá impacto positivo en la productividad de los sistemas de producción de carne bufalina en el país.

ANEXOS

ANEXO 1. REGLAMENTO



PRUEBAS DE DESEMPEÑO



**NORMAS ADOPTADAS POR LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE CRIADORES
DE BÚFALOS A.C.B.**

2009

INTRODUCCIÓN

La prueba de desempeño, conocida también como prueba de comportamiento o prueba de ganancia de peso, es un método de selección en el cual el animal es evaluado por su propio desempeño. Esta prueba es indicada para características de heredabilidad alta o moderada, donde el desempeño individual indica, con relativa precisión, su valor genético. La prueba de desempeño en ganado de carne, es utilizada con el objetivo de identificar individuos genéticamente superiores para características de interés económico relacionadas, principalmente, al potencial de crecimiento y calidad de la canal. Estas pruebas constituyen un importante instrumento auxiliar en sistemas de evaluación genética entre hatos, sobre todo en poblaciones que no poseen buena conectabilidad genética en sus bancos de datos.

Como ventajas de este método se pueden citar: 1. Posibilidad de estimar el mérito genético del animal cuando es relativamente joven, viabilizando así su utilización precoz en el hato. 2. Se puede obtener una intensidad de selección más alta y una disminución del intervalo generacional, obteniéndose mayores ganancias genéticas. 3. Pueden ser realizadas en la propia hacienda o en centrales de evaluación. 4. Permite realizar evaluaciones entre hatos (Pereira, 1999; Razook 2001).

De acuerdo con Gregory (1965), el objetivo principal de las pruebas de desempeño individual es ordenar, con la mayor precisión posible, los individuos participantes en función de sus valores genéticos. Con el fin de maximizar la eficiencia de las pruebas con relación a la correcta identificación del mérito genético de los animales participantes, es necesario el conocimiento y el control de los factores ambientales que afectan la expresión de las características de interés de la evaluación. En ese contexto, es importante que sea constituido, de la mejor manera posible, el grupo contemporáneo de animales que participan de la prueba, de tal forma que al ser sometidos a un ambiente único por un período de tiempo suficientemente largo, las diferencias de desempeño observadas sean debidas principalmente a las diferencias genéticas individuales. El grupo contemporáneo está generalmente compuesto por individuos provenientes de diferentes hatos, pero del mismo grupo racial, sexo, nacidos en un

espacio de tiempo no muy extenso y cuyos sistemas de manejo anterior a la prueba no sean muy diferenciados.

Uno de los aspectos más importantes en la conducción de las pruebas de desempeño es la eliminación de los efectos del ambiente al que estuvieron sometidos los animales, antes de ingresar a las pruebas. Generalmente, cuanto menor sea la variación de pesos de los animales en el inicio de la prueba menores serán los efectos de ambiente anteriores a la misma y, por lo tanto, mayor será la garantía de éxito en su realización. Con el fin de minimizar la variación de pesos al inicio de las pruebas algunas medidas a que pueden ser tomadas son: a) reducción en la variación de las edades de los animales, b) pre-selección de los individuos participantes con base en sus desempeños en los respectivos grupos contemporáneos en los hatos de origen, y c) manejo similar anterior a la prueba. A pesar de estas medidas, es necesario un manejo estandarizado proporcionado a los animales durante un periodo de adaptación a la prueba (Razook 2001).

El reglamento y la metodología que se proponen para el desarrollo de las pruebas de desempeño, se basa en la experiencia y las investigaciones realizadas a partir de la información obtenida de las pruebas en varios países, además de los reglamentos que actualmente tiene la Asociación Colombiana de Criadores de Búfalos (A.C.B) para el concurso lechero, control lechero y participación en remates.

NORMAS DE EJECUCIÓN

La Asociación Colombiana de criadores de Búfalos y que para efectos de este documento se denomina ACB, considera que la Prueba de Desempeño constituye un importante instrumento auxiliar en programas de mejoramiento genético de bovinos de carne, que permite estimar el mérito genético del animal cuando es joven. Con la realización de pruebas de desempeño, se contribuirá de manera significativa al mejoramiento de las ganaderías bufalinas dedicadas a la producción de carne y doble propósito. Sólo así se podrá posicionar los búfalos, no sólo en los mercados internos,

sino a nivel internacional. Por lo anterior se establece el reglamento para el desarrollo de las pruebas de desempeño por parte de la Asociación, considerando:

CAPITULO I

Artículo primero – Objeto

Este reglamento tiene como objetivo indicar los lineamientos que la ACB debe tener presente para la realización de las pruebas de desempeño, mediante la normatización de los actores y mecanismos de control, cuya finalidad es la valoración genética de los animales dedicados a la producción de carne.

Artículo segundo – Definiciones

Para efectos de este reglamento se define que la prueba de desempeño es un método de selección que permite evaluar animales provenientes de diferentes hatos, a partir de su propio desempeño. Para ello los animales provenientes de los diferentes hatos son sometidos a iguales condiciones medioambientales (alimentación, clima y manejo), lo cual permite que la diferencia en el de desempeño entre los animales, esté altamente correlacionada con las diferencias genéticas.

Artículo tercero – Ámbito de aplicación

Los animales que participarán en las pruebas de desempeño provendrán de bufaleras productoras de carne (cría sin ordeño) y doble propósito, cuyos propietarios sean socios de la ACB. Los animales participantes deben tener registro de existencia de la Asociación, o estar inscritos en los libros genealógicos del Programa de Registro Genealógico (PRG).

Artículo cuarto – Requisitos de las bufaleras

Las bufaleras deberán:

- a) Estar debidamente registradas en la ACB.

- b) Cumplir con las normas sanitarias del ICA.
- c) Estar al día con las cuotas de la ACB.
- d) Tener registros productivos, reproductivos y sanitarios

Artículo Quinto – Obligaciones de los criadores – productores

Los criadores se comprometen a:

- a) Que todos los animales participantes en las pruebas de desempeño deben estar inscritos en el libro genealógico de la raza o tener certificado de existencia del animal.
- b) Colaborar con los programas de valoración genética de reproductores.
- c) Suministrar la información de todos los eventos productivos y sanitarios de todos los animales participantes en las pruebas de desempeño.
- d) Permitir el acceso a la bufalera de las personas autorizadas por la ACB y suministrar la información necesaria para realizar la evaluación preliminar, con el objetivo de escoger los mejores animales para participar en las pruebas de desempeño.
- e) Permitir la toma de muestras de sangre y/o pelo para realizar las pruebas de paternidad a todos los animales que participarán en las pruebas de desempeño, si se requiere.

- f) Permitir la realización de las diferentes mediciones en los animales participantes de las pruebas de desempeño (pesajes, medidas bovinométricas y de ultrasonido, consumo, digestibilidad de nutrientes).
- g) Autorizar la realización de los análisis de fertilidad, una vez los animales alcancen la edad adecuada para ello.
- h) Asumir los costos de las pruebas de desempeño, según el presupuesto establecido antes del inicio de la prueba. En el caso de las pruebas de desempeño provenientes del proyecto financiado por el Ministerio de Agricultura, Universidad de Antioquia y la ACB titulado “Pruebas de desempeño en baby bufalo y búfalos doble propósito, en procura de seleccionar los mejores individuos para características relacionadas a la producción y rendimiento de carne” y código 2008H7447, los costos asumidos por el criador serán: Pruebas sanitarias y pruebas andrológicas y medicamentos de los animales en caso de enfermedad.

CAPITULO II. De la estructura de las Pruebas de Desempeño

Artículo sexto:

Se contará con un director, quien coordinará el desarrollo de las pruebas de desempeño. Este será nombrado por la Junta Directiva de una terna o un candidato propuesto por el Comité Técnico. El Director de las pruebas de desempeño debe ser un Zootecnista con experiencia en Genética y Mejoramiento. En el caso de las pruebas de desempeño realizadas con el proyecto cuyo código es 2008H7447, el director será la profesora Diana María Bolívar Vergara.

Parágrafo uno: La vigencia del cargo de director de las Pruebas de Desempeño será similar al de la junta directiva de la ACB y del comité técnico. Sin embargo, podrá ser removido del cargo por sugerencia del comité técnico y por decisión de la junta directiva.

Artículo séptimo:

Son funciones del director de las Pruebas de desempeño:

- a) Dirigir y controlar todas las actividades que sean necesarias para ejecutar las Pruebas de desempeño.
- b) Informar al comité técnico de la ACB, lo concerniente al proceso de escogencia de animales participantes, manejo de los animales y toma de información durante el desarrollo de las pruebas de desempeño y procesamiento de datos. Igualmente deberá informar sobre las actividades y desempeño de los estudiantes y técnicos que participen en las pruebas de desempeño.
- c) Proponer al comité técnico la autorización para vincular técnicos u otras personas cuando sea necesario.
- d) Proponer al comité técnico un reemplazo para su cargo, en caso de enfermedad o ausencia prolongada.
- e) Preparar informes cuando la Junta o el Comité Técnico lo autorice.

CAPITULO III: Metodología para el desarrollo de las pruebas de desempeño**Artículo octavo:**

El número mínimo de animales participantes en cada prueba será veinte (20) y el máximo cuarenta (39) y deben pertenecer por lo menos a tres ganaderías.

Artículo noveno:

Se realizarán pruebas de desempeño para animales provenientes de dos sistemas de producción: cría sin ordeño y doble propósito. Las pruebas se analizarán de manera independiente para los dos sistemas.

Artículo décimo:

Se realizará una preselección de los individuos que participarán en las pruebas de desempeño, con base en los registros productivos de las fincas. Para las ganaderías de doble propósito, se escogerán los hijos de las búfalas con mayor producción de leche y que a la vez tengan buenos pesos al destete y al año. Para las ganaderías con cría sin ordeño, se tendrán en cuenta los mejores pesos al destete. Con la preselección se busca reducir la variación excesiva de los pesos a la entrada de las pruebas y al mismo tiempo permitir una mayor eficiencia en la identificación de los genotipos superiores, para características de crecimiento.

Artículo decimoprimer:

Los animales deben pertenecer al sexo masculino y ser enteros. Los animales provenientes de cría sin ordeño deben tener entre 7 y 8 meses de edad al momento de iniciar la prueba de desempeño. Los animales provenientes de ganadería doble propósito, deben tener entre 13 y 14 meses al momento de iniciar la prueba. La máxima diferencia permitida entre animales será de 60 días.

Artículo decimosegundo:

Los animales deben ser enviados a la Estación Experimental o finca acompañados del registro genealógico emitido por la Asociación, más la información del peso al nacimiento, peso al destete, peso al año (en caso de los animales provenientes de los sistemas doble propósito), régimen de alimentación (ejemplo: pasto ó pasto más suplemento) y con los registros de vacunación y exámenes sanitarios pertinentes.

Artículo decimotercero:

Una vez ingrese el animal a la prueba, no podrá ser retirado, al menos que presente alguna enfermedad y deba ser retirado previa autorización del director de las pruebas.

Artículo decimocuarto:

Los animales permanecerán en confinamiento, recibiendo a voluntad una dieta adecuada para este tipo de pruebas. En el caso del proyecto cuyo código es 2008H7447, la dieta estará constituida básicamente por pasto Maralfalfa (*Pennisetum sp.*), más una suplementación con una fuente proteica y otra energética. La dieta tendrá una composición aproximada de 11% de proteína bruta y 64% de NTD. Tendrán acceso a sal mineralizada y agua a voluntad.

Artículo decimoquinto:

Al inicio de la prueba, serán ejecutadas actividades de carácter sanitario, como vacunaciones y vermifugaciones.

Artículo decimosexto:

La duración de la prueba será de 120 días, con un período de adaptación de 30 días. Este período de adaptación es necesario para evitar el efecto residual de la hacienda de donde provienen los búfalos sobre su desempeño. Además los animales se acostumbran al nuevo sistema de manejo, condiciones climáticas y de alimentación. Durante todo el período de la prueba los animales permanecerán en los mismos corrales de confinamiento, recibiendo el mismo manejo y ración a voluntad. Como peso inicial de la prueba será considerado el peso final del período de adaptación (30 días).

Artículo decimoséptimo: Posibles características a evaluar en las pruebas de desempeño

Durante el desarrollo de las pruebas, se podrán evaluar una o varias de las siguientes características:

Peso Corporal. Se realizará el pesaje de los animales cada 15 días. Lo anterior origina otras variables como ganancias diarias de peso, en diferentes períodos, durante la prueba.

Medidas bovinométricas. Se realizarán medidas mensuales. Las mediciones a realizar son: circunferencia escrotal, perímetro torácico, altura al sacro, longitud corporal, perímetro de la pierna y las distancias entre ilion-ilion, isquion-isquion y ilion-isquion.

Medidas de composición corporal por ultrasonido. Las medidas por ultrasonido serán realizadas mensualmente. Las medidas a realizar son: área del ojo del músculo dorsal largo -*Longissimus dorsi* - (AOL), espesor de la grasa dorsal (EGD) y espesor de la grasa del anca (EGA).

Consumo. El consumo de materia seca será evaluado cada 30 días, durante cuatro días. El consumo de las demás fracciones (proteína bruta (PB), fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA)), se evaluará durante los últimos cuatro días de la prueba.

Conversión alimenticia. Se calculará teniendo en cuenta el consumo de materia seca y las ganancias de peso, en cada período de medición.

Digestibilidad de nutrientes. Se evaluará durante los últimos cuatro días de la prueba de desempeño. Se estimará la digestibilidad de la MS, PC, FDN y FDA. Para esto se utilizará fibra en detergente ácido indigerible como marcador interno.

Artículo décimo octavo: Sistema de clasificación

Al finalizar la prueba, para cada animal, se calculará un índice para peso al final de la prueba y otras características evaluadas, teniendo en cuenta la media del grupo participante en la prueba de desempeño. Este índice permitirá seleccionar los toros sobresalientes para cada una de las características, siendo superiores los que obtengan mayor índice. Este índice será establecido teniendo en cuenta las características analizadas y realizado por profesionales del área de genética y mejoramiento animal

Artículo decimonoveno:

Los animales participantes de las pruebas de desempeño son de propiedad de los ganaderos, por lo tanto cualquier accidente en el transporte o durante el desarrollo de las pruebas será asumido por el ganadero.

Artículo veinte:

Una vez finalizadas las pruebas y analizados los datos, los resultados serán publicados, mediante boletines informativos y/o durante el desarrollo de remates especiales, los cuales se realizarán según previo acuerdo con los propietarios de los animales.

Artículo veintiuno:

A todos los animales que estén por encima del promedio en cada una de las características evaluadas, se le realizarán los exámenes de fertilidad, una vez alcancen la edad indicada para estas pruebas.

CAPITULO IV: De las ayudas**Artículo veintidós: Ayudas públicas o privadas a las Pruebas de Desempeño**

La ACB podrá recibir apoyo económico, logístico científico de instituciones del sector pecuario, previa realización de convenios de cooperación. La ACB deberá proceder a un adecuado control de este apoyo, que asegure la correcta obtención, disfrute o destino del apoyo recibido.

El presente reglamento rige a partir de la fecha en que sea aprobado por la Junta Directiva de la ACB

Medellín, _____ de _____ de 2009

RICARDO BOTERO J.

Presidente ACB

MARTHA L. RESTREPO R.

Directora Ejecutiva ACB

ANEXO 2**CONVENIO DE COOPERACIÓN 008/8727-3212/2009****CELEBRADO ENTRE LA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA (FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS) Y ALEJANDRO HENAO QUIROZ**

Entre los suscritos SARA MARÍA MÁRQUEZ GIRÓN, mayor de edad, domiciliado en Medellín, identificado con cédula 32.322.055 de Bello (Antioquia), debidamente facultado por la Resolución Rectoral 21000 del 14 de junio de 2005, que en calidad de decano de la Facultad de CIENCIAS AGRARIAS obra en nombre de la UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, ente universitario autónomo con régimen especial, sin ánimo de lucro, cuya creación fue determinada por la Ley 71 de 1878 del Estado Soberano de Antioquia, y cuya personería jurídica deriva de la Ley 153 de 1887, regida por la Ley 30 de 1992 y demás disposiciones aplicables de acuerdo con su régimen especial, que en adelante se denominará LA UNIVERSIDAD y ALEJANDRO HENAO QUIROZ, también mayor de edad y domiciliado en Medellín (Departamento de Antioquia), identificado con cédula 16.670.556 de Cali, quien obra en nombre de ALTAMAR S. A. con NIT 800147573-2 y que en adelante se llamará EL CRIADOR, y sin que haya causal de inhabilidad o incompatibilidad alguna, acordamos celebrar el presente Convenio Específico, que se regirá por las siguientes cláusulas, previas las siguientes consideraciones:

1. La Universidad de Antioquia y la Asociación Colombiana de Criadores de Búfalos, están ejecutando el proyecto “Pruebas de desempeño en Baby Búfalos y Búfalos Doble Propósito en procura de seleccionar los mejores individuos para características relacionadas a la producción y rendimiento de carne”.
2. El proyecto es cofinanciado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, cuyo código es 2008H7447.
3. La prueba de desempeño, conocida también como prueba de comportamiento o prueba de ganancia de peso, es un método de selección en el cual el animal es

evaluado por su propio desempeño. Esta prueba es indicada para características de heredabilidad alta o moderada, donde el desempeño individual indica, con relativa precisión, su valor genético.

4. La prueba de desempeño en ganado de carne, es utilizada con el objetivo de identificar individuos genéticamente superiores para características de interés económico relacionadas, principalmente, al potencial de crecimiento y calidad de la canal, por lo que se constituye en un importante instrumento auxiliar en sistemas de evaluación genética entre hatos.

5. Para el desarrollo del proyecto en mención, se realizarán varias Pruebas de Desempeño, con un mínimo de veinte (20) de animales participantes por prueba, los cuales deben pertenecer por lo menos a tres ganaderías.

4. Que EL CRIADOR dispone de machos enteros, y está interesado en participar con sus animales, en las pruebas que realizará la Universidad de Antioquia y la Asociación Colombiana de Criadores de Búfalos, dentro del proyecto descrito en los considerandos anteriores. El número de animales a participar en cada prueba aparecerán de manera detallada en el Acta de Entrega.

PRIMERA. Objeto: Establecer las bases de una mutua cooperación entre LA UNIVERSIDAD y EL CRIADOR, para permitir que dentro del desarrollo del proyecto “Pruebas de desempeño en Baby Búfalos y Búfalos Doble Propósito en procura de seleccionar los mejores individuos para características relacionadas a la producción y rendimiento de carne”, se realicen las PRUEBAS DE DESEMPEÑO a los machos enteros sanos entregados por EL CRIADOR, los cuales aparecen en el Acta de Entrega.

PARÁGRAFO 1. La máxima diferencia de edad permitida entre animales será de 60 días.

PARÁGRAFO 2. Los animales permanecerán en confinamiento, recibiendo a voluntad una dieta adecuada para este tipo de pruebas.

PARÁGRAFO 3. A todos los animales superiores que participen en el proyecto, se les realizarán los exámenes de fertilidad una vez alcancen la edad indicada para estas pruebas. LA UNIVERSIDAD utilizará 200 pajillas de cada uno de estos animales, para distribuir las en diferentes ganaderías del país por intermedio de la Asociación Colombiana de Criadores de Búfalos.

SEGUNDA. Obligaciones de EL CRIADOR:

1. Acreditar que los animales a entregar a la UNIVERSIDAD para participar en las pruebas de desempeño, provienen de bufaleras productoras de carne (cría sin ordeño) y doble propósito, cuyos propietarios sean socios de la ACB.
2. Permitir el acceso a la bufalera, de las personas autorizadas por la ACB y suministrar la información necesaria para realizar la evaluación preliminar, con el objetivo de escoger los mejores animales para participar en las pruebas de desempeño.
3. Entregar la custodia de los ejemplares a LA UNIVERSIDAD durante el tiempo de vigencia del presente convenio y abstenerse de realizar cualquier acto que entorpezca el desarrollo de LA PRUEBA DE DESEMPEÑO
4. Entregar a LA UNIVERSIDAD la información genealógica emitida por la Asociación Colombiana de Criadores de Búfalo, la información productiva y régimen de alimentación de cada animal.
5. Entregar los registros de vacunación y exámenes sanitarios vigentes de cada animal.
6. Acreditar que los animales entregados estén inscritos en el libro genealógico de la raza o que tengan el certificado de existencia del animal en la ACB.
7. Colaborar con los programas de valoración genética de reproductores.
8. Suministrar la información de todos los eventos productivos y sanitarios de los animales participantes en las pruebas de desempeño.

9. Permitir la toma de muestras de sangre y/o pelo para realizar las pruebas de paternidad y sanitarios a todos los animales que participarán en las pruebas de desempeño, si se requiere.
10. Permitir la realización de las diferentes mediciones en los animales participantes de las pruebas de desempeño (pesajes, medidas bovinométricas y de ultrasonido, consumo, digestibilidad de nutrientes).
11. Autorizar la realización de los análisis de fertilidad, una vez los animales alcancen la edad adecuada para ello.
12. Asumir los costos de las pruebas sanitarias, andrológicas y medicamentos de los animales en caso de enfermedad.

TERCERA. Obligaciones de la Universidad:

1. Recoger en LA HACIENDA ALTAMAR los animales de EL CRIADOR ubicada en EL ANCLAR, municipio de BUENAVISTA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA, y transportarlos hasta la Finca El Progreso (Municipio de Barbosa) de propiedad de LA UNIVERSIDAD, en donde permanecerán hasta la finalización del convenio.
2. Realizar al inicio de la prueba, las actividades de carácter sanitario, como vacunaciones y vermifugaciones pertinentes.
3. Realizar la siembra de material vegetal para el desarrollo de LA PRUEBA DE DESEMPEÑO.
4. Identificar a cada uno de los ejemplares de LA PRUEBA DE DESEMPEÑO.
5. Aportar el alimento necesario para el desarrollo de LA PRUEBA DE DESEMPEÑO, en cantidades que la UNIVERSIDAD considere pertinentes, según los recursos estipulados en el presupuesto del PROYECTO.
6. No disponer de los búfalos recibidos para su comercialización.

7. Al finalizar la Prueba de Desempeño, trasladar los animales de EL CRIADOR hasta LA HACIENDA ALTAMAR ubicada en EL ANCLAR, municipio de BUENAVISTA, DEPARTAMENTO DE CÓRDOBA.

CUARTA. Aspectos económicos. El valor estimado del presente convenio por concepto de pruebas, alimentación y transporte de los animales, por animal asciende a \$600.000, que LA UNIVERSIDAD asumirá con los recursos provenientes del convenio de cofinanciación número 2008H7447, suscrito con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, a través de la unidad ejecutora Universidad de Antioquia

QUINTA. Actividades y Duración de la Prueba de Desempeño:

5.1 Los animales permanecerán en confinamiento, recibiendo a voluntad una dieta adecuada para este tipo de pruebas.

5.2 Al inicio de la prueba, serán ejecutadas actividades de carácter sanitario, como vacunaciones y vermifugaciones pertinentes.

5.3 La duración de la prueba será de 120 días, con un período de adaptación de 30 días. Este período de adaptación es necesario para evitar el efecto residual de la hacienda de donde provienen los búfalos sobre su desempeño. Además los animales se acostumbran al nuevo sistema de manejo, condiciones climáticas y de alimentación. Durante todo el período de la prueba los animales permanecerán en los mismos corrales de confinamiento, recibiendo el mismo manejo y ración a voluntad. Como peso inicial de la prueba será considerado el peso final del período de adaptación (30 días). Una vez ingrese el animal a la prueba, no podrá ser retirado, al menos que presente alguna enfermedad y deba ser retirado previa autorización del director de las pruebas.

5.4 Características a evaluar en las pruebas de desempeño: Durante el desarrollo de las pruebas, se podrán evaluar una o varias de las siguientes características:

Peso Corporal. Se realizará el pesaje de los animales cada 15 días. Lo anterior origina otras variables como ganancias diarias de peso, en diferentes períodos, durante la prueba.

Medidas bovinométricas. Se realizarán medidas mensuales. Las mediciones a realizar son: circunferencia escrotal, perímetro torácico, altura al sacro, longitud corporal,

perímetro de la pierna y las distancias entre ilion-ilion, isquion-isquion y ilion-isquion.

Medidas de composición corporal por ultrasonido. Las medidas por ultrasonido serán realizadas mensualmente. Las medidas a realizar son: área del ojo del músculo dorsal largo -Longissimus dorsi - (AOL), espesor de la grasa dorsal (EGD) y espesor de la grasa del anca (EGA).

Consumo. El consumo de materia seca será evaluado cada 30 días, durante cuatro días. El consumo de las demás fracciones (proteína bruta (PB), fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA)), se evaluará durante los últimos cuatro días de la prueba.

Conversión alimenticia. Se calculará teniendo en cuenta el consumo de materia seca y las ganancias de peso, en cada período de medición.

Digestibilidad de nutrientes. Se evaluará durante los últimos cuatro días de la prueba de desempeño. Se estimará la digestibilidad de la MS, PC, FDN y FDA. Para esto se utilizará fibra en detergente ácido indigerible como marcador interno.

5.5 Sistema de clasificación: Al finalizar la prueba para cada animal, se calculará un índice para peso al final de la prueba y otras características evaluadas, teniendo en cuenta la media del grupo participante en la prueba de desempeño. Este índice permitirá seleccionar los machos sobresalientes para cada una de las características, siendo superiores los que obtengan mayor índice. Este índice será establecido teniendo en cuenta las características analizadas y será realizado por profesionales del área de genética y mejoramiento animal

SEXTA. Resultados. Una vez finalizadas las pruebas y analizados los datos, LA UNIVERSIDAD y LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE CRIADORES DE BÚFALOS publicarán los resultados, mediante boletines informativos.

SÉPTIMA. Exclusión de la Solidaridad Jurídica y de responsabilidad: No existirá régimen de solidaridad jurídica entre las partes suscribientes de este convenio, cada una responderá frente a terceros, por las obligaciones que específicamente asume en razón

del mismo. EL CRIADOR exonera a LA UNIVERSIDAD por cualquier accidente en el transporte o durante el desarrollo de las pruebas. Cualquier eventualidad en el desarrollo del convenio será asumido por el ganadero.

OCTAVA. Duración: El presente convenio tendrá una duración aproximada de treinta (30) meses, contados a partir de la fecha de su legalización. La prueba de desempeño durará cuatro (4) meses y el criador podrá participar en varias pruebas durante la duración del convenio, según logística para realización del proyecto.

NOVENA. Terminación: El presente convenio podrá ser terminado antes de su vencimiento por mutuo acuerdo, o por manifestación escrita de LA UNIVERSIDAD, dando aviso por escrito con una antelación no inferior a dos (2) meses. En el evento en que EL CRIADOR desee dar por terminado de forma anticipada el presente convenio, y que tenga en este momento animales en una de las pruebas, le cancelará a LA UNIVERSIDAD la suma de \$5.000 por cada día que un animal haya permanecido en dicha prueba.

DÉCIMA. Coordinación E Interventoría. La vigilancia por parte de LA UNIVERSIDAD, para la ejecución del presente convenio estará a cargo de MARIO FERNANDO CERÓN MUÑOZ, Jefe del CENTRO DE INVESTIGACIONES AGRARIAS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS o quien lo reemplace, quien además de velar por los intereses de LA UNIVERSIDAD y ser el canal de comunicación entre las partes, tendrá las siguientes funciones, y por lo tanto se obliga a:

- a) Vigilar el estricto cumplimiento del convenio.
- b) Resolver las dudas que tenga EL CRIADOR.
- c) Presentar las observaciones que juzgue conveniente.
- d) Dirigir y controlar todas las actividades que sean necesarias para ejecutar las Pruebas de desempeño.

DÉCIMA PRIMERA Solución de Controversias: Las partes convienen en agotar todos los medios para resolver amistosamente, sin litigios, cualquier controversia o duda que

podiera suscitarse con motivo de este convenio, para tal efecto, acudirán preferentemente, al empleo de los mecanismos de solución directa de controversias.

DÉCIMA SEGUNDA. Cesión: Este convenio es celebrado en consideración a las partes firmantes y del objeto que se pretende desarrollar; en consecuencia ninguna de las partes podrá cederlo sin el consentimiento expreso y por escrito de la otra.

DÉCIMA TERCERA. Propiedad Intelectual: La propiedad intelectual que derive de los trabajos realizados con motivo de este convenio, será de LA UNIVERSIDAD.

DÉCIMA CUARTA. Perfeccionamiento y Ejecución: El presente convenio se entiende perfeccionado una vez haya sido suscrito por las partes y para su ejecución requerirá de la respectiva apropiación presupuestal por parte de LA UNIVERSIDAD.

DÉCIMA QUINTA. Domicilio: Para todos los efectos se fija como domicilio la ciudad de Medellín

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en tres (3) ejemplares del mismo tenor a los

Sara María Márquez Girón
LA UNIVERSIDAD

Mario Fernando Cerón Muñoz
EL INTERVENTOR

Alejandro Henao Quiroz
EL CRIADOR

Anexo 3. Certificado de participación de los animales en la prueba de desempeño



Identificación: SR241 -08

PADRE: FCB 1376 POI da Campo Belo
MADRE: Bajua Poi da Campo Belo FB 798
NACIMIENTO: 02/11/2008
HACIENDA: Fortaleza –Montería, Córdoba
CRIADOR: Claudia Roldán
CATEGORÍA: Animal registrado en los libros de Puro de Origen (PO) de la ACB

2° PUESTO EN LA SEGUNDA PRUEBA DE DESEMPEÑO DE BÚFALOS PROVENIENTES DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DOBLE PROPÓSITO

CANTIDAD DE PAJILLAS: 765

RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE DESEMPEÑO REALIZADA ENTRE EL 11 DE DICIEMBRE DE 2009 Y EL 16 DE ABRIL DE 2010

Lugar: Hacienda El Progreso de la Universidad de Antioquia, Municipio de Barbosa (Antioquia)

ÍNDICE DE SELECCIÓN: 17,33

CARACTERÍSTICA	MEDIDA A LOS 530 DÍAS DE EDAD	DESVIACIÓN
Peso (kg)	337	+ 43,12
Área del ojo del lomo (cm ²)	44,45	+ 9,04
Espesor grasa de la cadera (mm)	6,4	+ 1,17

ANÁLISIS MOLECULAR

Laboratorio de Genética y Mejoramiento Animal U de A

MARCADOR	INRA37	SPS115	CSSM36	BM2113	CSSM38	TGLA227	BM1824	BM1258
ALELOS	126-132	254-254	162-172	128-134	156-160	78-80	182-188	98-98

ESTADO SANITARIO: Resultados negativos para:

- Campilobacter.
- Leptosira.
- Tuberculosis.
- Diarrea viral bovina (DVB)
- Trichomonas.
- Brucella.
- Influenza PI3.
- Estomatitis vesicular
- Leucosis.
- Aftosa.
- Rinotraqueitis infecciosa Bovina (IBR)

Mario Fernando Cerón Muñoz
Universidad de Antioquia

Diana María Bolívar Vergara
Universidad Nacional de Colombia

Tatiana Cifuentes Gómez
Asociación Colombiana de Criadores de Búfalos

Medellín, Octubre 28 de 2011