

ÍNDICES DE SELECCIÓN PARA EL MEJORAMIENTO PRODUCTIVO DE BOVINOS SUIZO EUROPEO EN MÉXICO

Selection indices for the productive improvement of braunvieh cattle in Mexico

Ricardo del Carmen Chin Colli¹, Juan Gabriel Magaña Monforte^{1*}, José Candelario Segura Correa¹, Rafael Núñez Domínguez², Raciél Javier Estrada León³

¹ Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. Km 15.5 Carretera Mérida-Xmatkuil, AP 4-116, Mérida, Yucatán, México.

² Departamento de Zootecnia, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México-Texcoco Km 38.5; CP. 56230, Chapingo, Estado de México.

³ Instituto Tecnológico Superior de Calkiní en el Estado de Campeche. Av. Ah Canul s/n por Carretera Federal. CP. 24900, Calkiní, Campeche.

* Autor de correspondencia: jmagana@correo.uady.mx

Artículo científico recibido: 23 de junio de 2014, **aceptado:** 20 de enero de 2015

RESUMEN. Se derivaron índices de selección para mejorar la producción de carne en bovinos Suizo Europeo considerando el peso al nacer (PN), al destete ajustado a 240 d (PD240) y al año de edad, la edad al primer parto (EPP) e intervalo entre partos (IP); se derivaron valores económicos relativos y parámetros genéticos. El modelo animal incluyó los efectos de grupo contemporáneo, aditivo directo, aditivo materno, ambiental permanente y el error; además de la covariable edad de la vaca al parto. Se construyeron 15 índices de selección con restricción en el cambio genético, peso al nacimiento, edad al primer parto o ambos, y otros sin restricción, usando los diferentes grupos de valores económicos calculados. Con el primer grupo de valores económicos, la exactitud en los índices de selección sin restricción varió de 0.342 a 0.464, y con restricción de 0.192 a 0.717. En tanto que con el segundo grupo de valores económicos, la exactitud en los índices sin restricción variaron de 0.516 a 0.602, y con restricción de 0.351 a 0.635. No se observó un deterioro genético de las características de reproducción, aunque no sean incluidas en el criterio de selección. Las características de reproducción parecen ser de importancia secundaria en la selección de bovinos de carne, después de las características de crecimiento.

Palabras clave: Crecimiento, índices de selección, reproducción, Suizo Europeo, valor económico relativo

ABSTRACT. Selection indices were derived in order to improve the production of beef from Braunvieh cattle considering their birth weight (BW), adjusted weaning weight at 240 d (WW240) and at one year of age, the age at first calving (AFC9B) and calving interval (CI); relative economic values and genetic parameters were also derived. The animal model included the contemporary group, direct additive, maternal additive, permanent environmental and error effects; in addition to the covariate age of the cow at calving. 15 selection indices with restrictions on genetic change, birth weight, age at first birth or both, and others without restrictions were formulated using the different groups of calculated economic values. Within the first group of economic values, the accuracy of the selection indices without restrictions varied from 0.342 to 0.464, and with restrictions from 0.192 to 0.717. Whereas within the second group of economic values, the accuracy of the indices without restrictions varied from 0.516 to 0.602, and with restrictions from 0.351 to 0.635. There is no observed genetic deterioration for reproduction characteristics, even though they are not included in the selection criteria. Reproduction characteristics seem to be of secondary importance in the selection of beef cattle, after growth characteristics.

Key words: Growth, selection indices, reproduction, Braunvieh cattle, relative economic value

INTRODUCCIÓN

En México, a partir del 2003 se evalúan las diferencias esperadas de la progenie para algunas características de crecimiento (peso al nacer, al destete y al año de edad) y la circunferencia escrotal de bovinos Suizo Europeo de registro. Estas evaluaciones genéticas, se implementaron antes de desarrollar los objetivos de selección y de calcular los valores económicos relativos para las características de importancia económica (Núñez *et al.* 2003). Las características reproductivas han sido poco estudiadas, mientras que las características de la carne y del consumo de alimento se han ignorado (Ramírez-Valverde *et al.* 2014). La necesidad de definir de forma clara los objetivos de selección en bovinos de carne, es una consecuencia del alto número de rasgos biológicos que contribuyen a la rentabilidad de un hato, los cuales pueden presentar asociaciones genéticas negativas (Grossi *et al.* 2009, Boligon *et al.* 2013, Eller *et al.* 2014).

La selección para el mejoramiento de las medidas de crecimiento es de suma importancia en la industria de bovinos de carne (Brumatti *et al.* 2011). Al respecto, se ha demostrado que es económicamente benéfico incluir medidas reproductivas en las medidas de crecimiento (Graser *et al.* 1994, Brumatti *et al.* 2011, Campos *et al.* 2014). Por lo que, generar un índice de selección para incrementar la tasa de crecimiento y al mismo tiempo controlar las características de reproducción, puede dar una buena respuesta a la selección, en comparación con la selección indirecta para características de crecimiento (Grossi *et al.* 2009). Las correlaciones genéticas negativas, entre las características de crecimiento y la edad al primer parto (-0.16 a -0.34) y de crecimiento con el intervalo entre partos (-0.30 a 0.32), indican que el mejoramiento de las características de crecimiento puede reducir la edad al primer parto (EPP) y aumentar o reducir el intervalo entre partos (IP). Por lo que, se deben estudiar los efectos de incluir algunas características reproductivas en el índice de selección de bovinos de carne (Brumatti *et al.* 2011, Campos *et al.* 2014). Actualmente, la selección objetiva para características

maternas es mínima, ya que la mayoría de los programas nacionales de mejoramiento genético para carne, se realizan por medio de la selección de sementales, siendo de poca importancia la selección de vientres para mejorar la habilidad materna y las características reproductivas (CONARGEN 2011).

La carencia de parámetros genéticos y económicos reales, es una limitación en la derivación de los índices de selección, ya que los resultados pueden depender de los parámetros usados; por esta razón es importante conocer la sensibilidad de los índices, al cambio en los valores económicos (Mrode y Thompson 2005, FAO 2010). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue construir índices de selección para mejorar la producción de carne en bovinos Suizo Europeo en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Origen de la información y manejo de los animales

Se utilizaron registros de ganado Suizo Europeo de la Asociación Mexicana de Criadores de Ganado Suizo de Registro (AMCGSR). En el análisis se utilizaron 21 547 animales nacidos en 86 hatos, los cuales fueron crías de 632 sementales y 10 796 vacas durante el periodo de 1979 a 2010. El objetivo de selección consideró las características de peso al nacer (PN, $n = 16\ 806$), peso al destete (PD240, $n = 9\ 011$) y peso al año (PA, $n = 6\ 516$), usados en las evaluaciones genéticas nacionales de bovinos Suizo Europeo de registro; además de la edad al primer parto (EPP, $n = 5\ 974$) y el intervalo entre partos (IP, $n = 3\ 914$). El pedigrí contempló tres generaciones donde el número de abuelos paternos para PN, PD240, PA, EPP e IP fue de 221, 183, 162, 162 y 156, respectivamente; el número de abuelos maternos para PN, PD240, PA, EPP e IP fue de 758, 618, 540, 481 y 376, respectivamente; mientras que el número de madres con datos variaron entre 569 y 1 875 según la característica. El promedio de datos por madre fue de 1.92, 1.59, 1.47, 1.69 y 2.96 para PN, PD240, PA, EPP e IP, respectivamente. El conjunto de características incluidas en el objetivo

Tabla 1. Resumen estadístico de los indicadores productivos incluidos en el objetivo de selección.

Componentes	PN	PD240	PA	EPP	IP
Número de animales con registro	16 806	9 011	6 516	5 974	3 914
Media	37.6	235.1	334.0	1 139.5	449.1
Desviación estándar	5.2	43.1	58.3	248.2	83.9
Coefficiente de variación	14.0	18.3	17.5	21.8	18.7

PN = peso al nacimiento; PD240 = peso al destete ajustado a 240 días de edad; PA = peso al año; EPP = edad al primer parto; IP = intervalo entre partos.

de selección contribuyen a un alto peso a diferentes edades, con un inicio temprano de la reproducción para una vida útil sostenida en el hato. Para este caso, el peso al nacimiento se consideró como un criterio de selección de la facilidad al parto debido a la alta correlación entre estos. Los productores de vaca cría, obtienen sus ingresos de la venta de becerros al destete, es por eso que el peso al destete se considera en el objetivo de selección, como un indicador de la habilidad materna. El PA se incluyó para considerar de forma parcial los costos de mantenimiento anual, que están asociados con los requerimientos alimenticios, reproducción y otras características fisiológicas; aunado a su alta correlación con el peso a la madurez. Mientras que la edad al primer parto es un indicador de la precocidad sexual (Tabla 1).

Componentes de covarianza, varianza y parámetros genéticos

Los componentes de covarianza y varianza utilizados (Tabla 2 y Tabla 3) se estimaron con modelos bivariados. Para PN, PD240 y PA incluyeron los efectos fijos de grupo contemporáneo (hato, año, estación de nacimiento y sexo), y la covariable edad de la vaca al parto de forma lineal y cuadrática. Además de los efectos aleatorios genéticos aditivos directos y maternos, la covarianza entre ellos y el efecto aleatorio del ambiente permanente materno (excepto para PA). Para EPP e IP los modelos incluyeron los efectos fijos de grupo contemporáneo (hato, año y estación de parto), la covariable edad de la vaca al parto de forma lineal y cuadrática (excepto para EPP), así como, los efectos aleatorios genéticos aditivos directos y del ambiente permanente materno (excepto para EPP).

Para estos análisis, sementales con menos de cinco crías se eliminaron.

Para todas las características, los grupos contemporáneos con menos de siete observaciones se eliminaron (Ramírez-Valverde *et al.* 2008). Un modelo animal se analizó con el método de máxima verosimilitud restringida libre de derivadas (REML). Con el programa de análisis multivariado de máxima verosimilitud restringida libre de derivadas (Boldman *et al.* 1995).

Valor económico relativo (VER)

La falta de datos socioeconómicos impidió la derivación de los valores económicos reales. Por lo que para este estudio, se consideraron valores económicos relativos, los cuales se derivaron por los métodos:

Valor económico relativo 1 (VER 1). Para PN, PD240, PA, EPP e IP fueron de -1, 1, 1, -1 y -1, respectivamente (Tabla 4). Dependiendo del beneficio económico de cada característica, el valor económico relativo puede ser positivo o negativo.

Valor económico relativo 2 (VER 2). Está calculado como $1/\sigma_P$, donde σ_P es la desviación estándar fenotípica para cada característica (Falconer y Mackay 1997, Cameron 1996). El valor económico de PN se fijó en 1 y los VER de las otras características se calcularon de forma relativa (Tabla 4).

Estimación de los índices de selección

El índice (I) determina los coeficientes del criterio que maximiza la respuesta en el objetivo de selección (H). Las características medidas, para predecir el valor reproductivo del animal, fueron X1, X2,

Tabla 2. Heredabilidades (h^2), varianzas (diagonal), covarianzas (abajo de la diagonal) y correlaciones (encima de la diagonal) genéticas entre las características incluidas en el objetivo de selección.

Características	PNd	PNm	PD240d	PD240m	Pad	PAm	EPPd	IPd
h^2	19	0.02	0.27	0.05	0.34	0.07	0.11	0.03
PNd	2.03	-0.43	0.51	0.00	0.44	0.00	-0.16	0.32
PNm	-0.26	0.19	-0.33	0.32	-0.09	0.09	0.00	-0.04
PD240d	9.35	-1.85	165.03	-0.29	0.84	-0.42	-0.16	-0.30
PD240m	-0.02	0.73	-20.12	28.68	-0.06	0.52	-0.14	-0.01
Pad	10.66	-0.68	182.11	-5.43	287.34	-0.60	-0.34	0.14
PAm	-0.00	0.29	-41.37	21.58	-78.10	59.46	0.00	0.00
EPPd	-16.82	0.00	-143.46	-60.56	-409.35	-0.01	5 052.48	-0.26
IPd	6.43	-0.22	-55.74	-0.44	32.60	-0.27	-262.15	195.21

PNd, PD240d, PAd, EPPd, e IPd = efectos genéticos directos para PN, PD240 y PA, EPP, respectivamente. PNm, PD240m y PAm = efectos genéticos maternos para PN, PD240 y PA, respectivamente.

Tabla 3. Varianzas (diagonal), covarianzas (abajo de la diagonal) y correlaciones (encima de la diagonal) fenotípicas entre las características incluidas en el objetivo de selección.

Características	PNd	PD240d	Pad	EPPd	IPd
PNd	10.65	0.21	0.20	-0.02	0.05
PD240d	16.89	601.43	0.62	-0.10	0.63
Pad	18.64	444.06	840.54	-0.21	-0.65
EPPd	-12.57	-524.06	-1243.10	45008.12	-0.05
IPd	12.65	1178.52	-1406.04	-728.88	5790.80

PNd, PD240d, PAd, EPPd, e IPd = efectos genéticos directos para PN, PD240 y PA, EPP, respectivamente.

X3 ..., X_m, en este caso PN, PD240, PA, EPP e IP, se combinaron en un índice en el cual los animales serían seleccionados.

Tabla 4. Valores económicos de las características en el objetivo de selección, relativos al peso al nacimiento.

Características	VER 1 n (%)	1/ σ_P (%)	VER 2
PN	-1	1/3.26	-1
PD240	1	1/24.52	0.13
PA	1	1/28.99	0.11
EPP	-1	1/212.15	-0.02
IP	-1	1/76.10	-0.04

PNd, PD240d, PAd, EPPd, e IPd = efectos genéticos directos para PN, PD240 y PA, EPP, respectivamente.

El criterio de selección fue: $I = b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots + b_m X_m$. Donde, X es un vector de valores fenotípicos de las características en el criterio de selección; y las b son los coeficientes de regresión del índice, estimado como: $b = P^{-1} Ga$. Donde, P^{-1} es la inversa de la matriz de varianzas y covarianzas fenotípicas de las características en el criterio de selección, G es la matriz de co-

varianzas entre las características en el objetivo de selección y el criterio de selección, b es un vector de los coeficientes de regresión usados en el índice, y a es un vector de constantes que representa los valores económicos de las características.

La varianza del índice se calculó como: $\sigma^2 = b'Pb$ y la varianza del objetivo de selección, llamado también valor genético total o mérito genético total fue: $\sigma^2 H = a'Ca$. Donde, C es la matriz de covarianzas y varianzas de las características en el objetivo de selección.

La exactitud del índice (r_{HI}) se define como la correlación entre la varianza del mérito genético total, estimándose la varianza del índice de la forma siguiente: $\sigma I / \sigma H = \sigma HI / (\sigma I \sigma H)$, entonces $\sigma HI = \sigma^2 I$. Lo que equivale a la siguiente matriz (Cunningham *et al.* 1970):

$$r_{HI} = b'Ga[(b'Pb)(a'Ca)^{-\frac{1}{2}}]$$

Donde: b = coeficiente del índice, a = valor económico de las características en el valor genético agregado, P = matriz de (co)varianzas fenotípicas

de las características en el índice, G = matriz de covarianzas entre las características en el objetivo de selección y el criterio de selección, y C = es la matriz de (co)varianzas de las características en el objetivo de selección.

El cambio genético esperado (∇G) para una característica dada fue $\nabla G = i_I \frac{b'G_j}{\sqrt{b'Pb}}$, donde i es la diferencia de selección estandarizada (igual a 1) en el criterio de selección I . Para comparar los índices y determinar las características que combinan mejor en un índice, se calculó la eficiencia relativa (ER) para cada índice basado en r_{HI} relativo al índice completo (I_1). Las covarianzas, varianzas genéticas y fenotípicas estimadas de las características se usaron en la construcción de índices de selección restringido (Kempthorne y Nordskog 1959, Cunningham *et al.* 1970) y no restringido, que equivale al método de Hazel (1943). Para el índice de selección restringido, la respuesta correlacionada de PN y la EPP fueron iguales a cero.

RESULTADOS

Las estimaciones de los índices de selección con los VER 1 y 2, cuando los objetivos de selección restringen o no el PN y la EPP se presentan en las Tablas 5 y 6, respectivamente. Los índices de selección se ordenaron de acuerdo a la exactitud (r_{HI}), y la eficiencia relativa de los mismos con respecto al índice completo (índice 1).

El VER es independiente de la unidad en que se expresan las características, aportando una mejor indicación de la importancia relativa de cada rasgo para establecer algún tipo de comparación. En los dos grupos generados de VER, la EPP y el IP fueron las características con menor relevancia dentro del objetivo de selección, siendo más notorio en el grupo VER 2, donde los valores para EPP e IP fueron -0.02 y -0.04 comparado con 1, 0.13 y 0.11 para PN, PD240 y PA, respectivamente. Los valores económicos relativos generados en el grupo 2, contribuyeron a balancear los cambios genéticos esperados y a mejorar las exactitudes. Además de que afectaron el orden de importancia de los índices con base en

la ER de cada índice.

La adición de las características reproductivas mejoró la eficiencia de la respuesta en el genotipo agregado por encima del índice de selección basado en el PN, PD240 y PA. La EPP y el IP aumentaron la exactitud del índice de selección. Usando el grupo VER 1, para los índices sin restricción y tomando en cuenta la ER, el I_6 fue el mejor (ER = 111), aunque el I_1 fue el que tuvo un mejor balance en las respuestas a la selección, en el sentido de que el cambio genético esperado en la EPP y el IP fueron negativos y para el PN el cambio genético esperado fue el menor (0.385 kg). Sin embargo, el índice estimado con mayor exactitud (0.717) y eficiencia relativa (172 %) fue el índice 10, que se basó en el PD240, EPP e IP y restringió el cambio genético en la EPP. El I_{10} basado en el PD240, EPP e IP y en el cual se restringe a cero el cambio genético de EPP, fue el que tuvo una mayor exactitud (0.717) y ER (172 %).

Usando el grupo VER 2, tomando en cuenta la ER, el I_3 sin restricción fue el mejor (ER = 115), aunque el I_1 e I_5 fueron los que tuvieron un mejor balance en las respuestas a la selección, en el sentido de que el cambio genético esperado en la EPP y el IP fueron negativos y para el PN el cambio genético esperado fue el menor (0.319 kg). Al igual cuando se utilizó el grupo VER 1, el I_{10} basado en el PD240, EPP e IP y en el cual se restringe a cero el cambio genético de EPP, fue el que tuvo una mayor exactitud (0.635) y ER (121).

DISCUSIÓN

Los valores económicos relativos utilizados para estimar los índices de selección, a pesar de no ser actual y propia de la población estudiada, dan una idea de la magnitud de la ganancia económica esperada. Por lo que se requiere realizar estudios para derivar los valores económicos de cada característica de importancia económica y biológica que se consideren en los objetivos de selección. Los valores económicos difieren de forma considerable entre razas, sistemas de producción y regiones agroecológicas; por lo que los índices deben derivar-

Tabla 5. Exactitud (r_{HI}), coeficiente de regresión parcial (b), eficiencia relativa (ER %) y cambio genético esperado (∇G) con el primer grupo de valores económicos relativos (VER 1) cuando la respuesta en el peso al nacimiento y la edad al primer parto son restringidos o no restringidos en el objetivo de selección.

Índice de Selección	Características										r_{HI}	ER%
	PN, kg		PD240, kg		PA, kg		EPP, días		IP, días			
	b	∇G	B	∇G	B	∇G	b	∇G	B	∇G		
Sin restricción												
I3	0	0.425	1.46	9.261	0	9.234	0	-4.799	-0.29	-4.975	0.342	82
I2	0	0.395	0.26	6.802	0.86	10.036	0	-13.264	0	0.458	0.359	86
I5	0.79	0.440	0.25	6.885	0.85	10.098	0	-13.462	0	0.649	0.360	86
I1	1.05	0.385	0.69	5.714	0.26	7.316	-0.10	-20.249	-0.05	-0.070	0.418	100
I4	0	0.548	0	7.535	1.69	13.220	0	-21.214	0.42	3.614	0.464	111
Con restricción en PN												
I7	-2.79	0	0.61	4.705	0	5.133	0	-2.547	0	-3.293	0.192	46
I6	-3.93	0	0.05	4.454	0.70	7.555	0	-10.193	0	-0.244	0.274	66
I8	-3.84	0	0	4.322	0.73	7.520	0	-10.434	0	-0.037	0.275	66
I9	-3.83	0	0.47	3.357	0.21	4.905	-0.10	-19.619	-0.07	-1.103	0.354	85
Con restricción en EPP												
I13	0	0.304	0	5.577	0.43	8.314	0.04	0	0	0.372	0.411	98
I11	0	0.396	0	6.260	0.56	9.976	0.05	0	0.09	1.548	0.444	106
I14	-0.57	0.341	-0.02	6.167	0.60	10.185	0.05	0	0.10	1.629	0.448	107
I12	0	0.360	0.63	6.528	0	6.915	0.02	0	0	-2.563	0.486	116
I10	0	0.393	1.20	9.162	0	8.731	0.02	0	-0.29	-5.549	0.717	172
Con restricción en PN y EPP												
I15	-2.52	0	-0.06	4.481	0.54	8.607	0.04	0	0.09	0.987	0.372	89

PNd, PD240d, PAD, EPPd, e IPd = efectos genéticos directos para PN, PD240 y PA, EPP, respectivamente.

Tabla 6. Exactitud (r_{HI}), coeficiente de regresión parcial (b), eficiencia relativa (ER %) y cambio genético esperado (∇G) con el segundo grupo de valores económicos relativos (VER 2) cuando la respuesta en el peso al nacimiento y la edad al primer parto son restringidos o no restringidos en el objetivo de selección.

Índice de Selección	Características										r_{HI}	ER%
	PN, kg		PD240, kg		PA, kg		EPP, días		IP, días			
	b	∇G	B	∇G	B	∇G	b	∇G	B	∇G		
Sin restricción												
I2	0	0.410	0.03	7.082	0.04	9.917	0	-12.265	0	-0.102	0.516	99
I5	-0.09	0.319	0.03	6.794	0.05	9.608	0	-11.655	0	-0.455	0.523	100
I1	-0.09	0.319	0.04	6.874	0.03	9.163	0	-10.405	0	-1.077	0.523	100
I4	0	0.537	0	7.581	0.09	13.124	0	-20.777	0.02	3.336	0.596	114
I3	0	0.414	0.11	9.304		9.154	0	-4.314	-0.03	-5.229	0.602	115
Con restricción en PN												
I7	-0.25	0	0.05	4.705		5.133	0	-2.547	0	-3.293	0.351	67
I8	-0.27	0	0	4.322	0.05	7.520	0	-10.434	0	-0.037	0.405	77
I6	-0.31	0	0.22	4.836	0.04	7.327	0	-8.541	0	-1.196	0.419	80
I9	-0.31	0	0.03	4.823	0.03	7.082	0	-10.204	0	-1.451	0.420	80
Con restricción en EPP												
I13	0	0.304	0	5.577	0.04	8.314	0	0	0	0.372	0.421	81
I12	0	0.360	0.06	6.528	0	6.915	0	0	-2.563	0.433	83	
I11	0	0.402	0	6.278	0.06	10.064	0.01	0	0.01	1.660	0.464	89
I14	-0.14	0.208	0.02	5.798	0.05	8.648	0	0	0	-0.226	0.480	92
I10	0	0.393	0.11	9.164	0	8.737	0	0	-0.03	-5.541	0.635	121
Con restricción en PN y EPP												
I15	-0.27	0	0.01	4.596	0.04	7.262	0	0	0	-0.753	0.410	78

PNd, PD240d, PAD, EPPd, e IPd = efectos genéticos directos para PN, PD240 y PA, EPP, respectivamente.

se para cada raza, sistema o región (Urioste *et al.* 1998, Tanaka *et al.* 2012, Campos *et al.* 2014).

Aunque el VER para cada característica no se estimó con costos reales, los valores en la EPP y el IP deben tomarse en cuenta, ya que muestran que las características reproductivas son de importancia en los bovinos Suizo Europeo. Al respecto, Barwick *et al.* (1995), Bittencourt *et al.* (2006) y Laske *et al.* (2012) mostraron que los rasgos reproductivos aumentan en importancia, con relación al crecimiento. Por lo que sería importante que los criadores de ganado le den mayor importancia a la generación de datos económicos para una mejor estimación de los VER (Tanaka *et al.* 2012, Campos *et al.* 2014).

Se ha demostrado la importancia de los caracteres de crecimiento y reproductivos (Brumatti *et al.* 2011, Tanaka *et al.* 2012, de Hass *et al.* 2013, Campos *et al.* 2014), lo cual coincide con lo encontrado en el presente estudio. Sin embargo, un examen de los VER de reproducción y crecimiento, indican que los rasgos reproductivos son económicamente importantes como los de crecimiento, mientras que los atributos de la carne y de la canal ocupan un lugar secundario (MacNeil *et al.* 1998). Las correlaciones entre los objetivos de selección y los índices fueron positivos y moderados. Sin embargo, los resultados indican que la selección puede ser poco eficiente, si el índice no corresponde al sistema de producción (Urioste *et al.* 1998, Tanaka *et al.* 2012, de Hass *et al.* 2013, Campos *et al.* 2014).

La definición clara de los objetivos de selección, es de suma importancia en el mejoramiento genético de los bovinos de carne, ya que son varios los rasgos biológicos que contribuyen a ello, por lo que es necesario la correcta identificación y ponderación de los rasgos de mayor importancia. Al respecto Urioste *et al.* (1998) indicaron que cuando la definición de los objetivos se simplifica y las decisiones de selección se basan en uno o dos rasgos, puede haber repercusiones no deseables. En este estudio, la selección solamente por peso vivo, resultó en cambios favorables en peso vivo y EPP, acompañada en algunos casos por cambios desfavorables en el IP; como consecuencia de las correlaciones

genéticas negativas y positivas entre las características de peso y el IP.

Cuando el cambio genético en PN no se restringió, fue positivo, debido a la asociación genética positiva que existe con otros caracteres de crecimiento como PD240 y el peso al año de edad. Lo anterior, es importante, tomando en cuenta que el aumento en el PN puede ocasionar un aumento en los partos distócicos (MacNeil *et al.* 1998). Hay que tomar en cuenta que este aumento puede ser posible entre otros factores si se sobrepasa el óptimo del peso al nacimiento, por lo que a corto plazo, la respuesta genética positiva en el PN puede no afectar los partos distócicos, pero a largo plazo el aumento en el PN puede no ser aceptable (MacNeil *et al.* 1998, MacNeil 2003). Se ha encontrado que en la selección para disminuir el PB, las correlaciones son positivas entre el peso vivo a todas las edades, el PN se incrementa en cada generación, con incrementos mayores en el peso al destete, al año de edad y el peso adulto de la vaca, lo cual puede tener una disminución del desempeño reproductivo (Grossi *et al.* 2009, Boligon *et al.* 2013, Eller *et al.* 2014).

Estudios indican la existencia de variación genética en los rasgos reproductivos en ganado de carne (Morris y Cullen 1995, Johnston y Bunter 1996). Otros autores han mostrado las ventajas de la inclusión de medidas reproductivas en la hembra en los objetivos de selección (Grossi *et al.* 2009, Eller *et al.* 2014, Boligon *et al.* 2013). Mientras que Graser *et al.* (1994) mencionan que las medidas de fertilidad son criterios adicionales de selección más efectivos. La reducción en el cambio genético en la EPP y el IP puede no ser factible a largo plazo; una alternativa puede ser la exclusión de la EPP y el IP del criterio de selección, el cual puede reducir la magnitud de la respuesta en la EPP y el IP.

CONCLUSIONES

Los diferentes índices de selección generados en este estudio permitieron conocer las características en el criterio de selección, que tienen un equilibrio entre los distintos componentes. Estos

índices se pueden utilizar como un criterio objetivo de selección de animales de perfil materno, con énfasis en los rasgos asociados a la fase de cría y en animales en el crecimiento. Es apropiado incluir características reproductivas en los criterios de selección, tomando en cuenta un perfil terminal. Los valores económicos relativos supuestos y estimados en este estudio, dan una idea de la importancia de las características de crecimiento y reproducción, aunque es fundamental generar valores económicos

relativos de costos reales.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de estudios de Posgrado. También se agradece a la AMCGSR por facilitar los registros para el presente estudio.

LITERATURA CITADA

- Barwick SA, Henzel AL, Goddard ME (1995) Beef breeding for cow fertility: when is it important? *Proceedings Australian Association of Animal Breeding and Genetics* 11: 443-446.
- Bittencourt TCC, Lôbo RB, Bezerra LAF (2006) Economic values for breeding goal traits for brazilian beef cattle production. *Archivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* 58: 196-204.
- Boldman KG, Kriese LA, Van V LD, Van T CP, Kachman SD (1995) A manual for use of MTDFREML. A set of programs to obtain estimates of variances and covariances (DRAFT). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Research Service, Lincoln, NE. 120p.
- Boligon AA, Carvalheiro R, Albuquerque LG (2013) Evaluation of mature cow weight: Genetic correlations with traits used in selection indices, correlated responses, and genetic trends in Nelore cattle. *Journal of Animal Science* 91: 20-28.
- Brumatti CR, Ferraz JBS, Eler JP, Formigoni IB (2011) Development of selection index in beef cattle under the focus of a bio-economic model. *Archivos de Zootecnia* 60: 205-213.
- Cameron ND (1997) Selection indices and prediction of genetic merit in animal breeding. Roslin Institute, Edinburgh, UK, CAB International. 203p.
- Campos GS, Braccini Neto J, Oaigen RP, Cardoso FF, Cobusi JA, Kem EL, *et al.* (2014) Bioeconomic model and selection indices in Aberdeen Angus cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 131: 337-348.
- CONARGEN (2011) Resumen de las evaluaciones genéticas para sementales Suizo Europeo. 32p.
- Cunningham EP, Moen RA, Gjedrem T (1970) Restriction of selection indexes. *Biometrics* 26: 67-74.
- de Hass Y, Veerkamp RF, Shalloo L, Dillon K, Kuipers A, Klopčič M (2013) Economic values for yield, calving interval and beef daily gain for three breeds in Slovenia. *Livestock Science* 157: 397-407.
- Eller JP, Bignardi AB, Ferraz JBS, Santana Jr ML (2014) Genetic relationships among traits related to reproduction and growth of Nelore females. *Theriogenology* 82: 708-714.
- FAO (2010) Estrategías de mejora genética para la gestión sostenible de los recursos zoogenéticos. Directrices FAO: Producción y sanidad animal. No. 3. Roma. 138p.
- Falconer DS, Mackay TFC (1996) Introducción a la genética cuantitativa. 4a edición. Editorial Acribia, Zaragoza, España. 469p.

- Graser H, Nitter UG, Barwick SA (1994) Evaluation of advanced industry breeding schemes for Australian beef cattle. II. Selection on combinations of growth, reproduction and carcass criteria. *Australian Journal Agricultural Research* 45: 1657-1669.
- Grossi DA, Ventunini GC, Paz CCP, Bezerra LAF, Lôbo RB, Oliveira JA, *et al* (2009) Genetic association between age at first calving and heifer body weight and scrotal circumference in Nellore cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 126: 387-393.
- Hazel LN (1943) The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* 28: 476-490.
- Johnston DJ, Bunter KL (1996) Days to calving in Angus cattle: genetic and environmental effects, and covariances with other traits. *Livestock Production Science* 45: 13-22.
- Kempthorne O, Nordskog AE (1959) Restricted selection indices. *Biometrics* 15: 10-19.
- Laske CH, Texeira BBM, Dionello JL, Cardoso FF (2012) Breeding objectives and economic values for traits of low input family based beef cattle production systems in the State of Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Zootecnia* 41: 298-305.
- MacNeil MD, Urick JJ, Snelling WM (1998) Comparison for selection by independent culling levels for below-average birth weight and yearling weight in mass selection for high yearling weight in Line 1 Hereford cattle. *Journal of Animal Science* 76: 458-467.
- MacNeil MD (2003) Genetic evaluation of an index of birth weight and yearling weight to improve efficiency of beef production. *Journal of Animal Science* 81: 2425-2433.
- Mrode RA, Thompson R (2005) *Linear models for the prediction of animal breeding values*. CABI Publishing Oxfordshire OX10 8DE UK. 344p.
- Morris CA, Cullenn G (1995) Genetic studies of days to calving in beef cattle. *Proceedings Australian Association of Animal Breeding and Genetics* 11: 350-355.
- Núñez R, Ramírez VR, Ruíz FA (2003) Resumen de las evaluaciones genéticas para sementales Suizo Europeo. *Boletín Técnico*. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo, México. 40p.
- Ramírez-Valverde, Núñez-Domínguez R, Ruiz-Flores A, García-Muñiz JG, Magaña-Valencia F (2008) Comparación de definición de grupos contemporáneos en la evaluación genética de bovinos Suizo Europeo. *Técnica Pecuaria en México* 46: 359-370.
- Ramírez-Valverde R, Núñez-Domínguez R, Fabián-Barrios E (2014) Caracterización de las publicaciones sobre mejoramiento genético animal en revistas científicas mexicanas. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 1: 59-72.
- Tanaca ALR, Neves HHR, Oliveira JA, Carvalheiro R, Quiroz SA (2012) Bio-economic selection index for Nellore beef cattle females. *Archivos de Zootecnia* 61: 537-548.
- Urioste JI, Ponzoni RW, Aguirrezabal M, Rovere G, Saavedra D (1998) Breeding objectives for pasture-fed Uruguayan beef cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 115: 357-373.

