

Comparación de distintos índices y criterios de selección en ovinos Merino Precoz manejados en condiciones extensivas de la zona central de Chile

Selection indexes and criteria comparisons in Merino Precoz sheep kept under range conditions in central Chile

F Lembeye^{a*}, G Castellaro^b, JC Magofke^b, H Uribe^b

^aInstitute of Veterinary, Animal and Biomedical Sciences, Massey University, Massey, New Zealand.

^bDepartamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

SUMMARY

The aim of this study was to calculate and compare efficiency of four selection indices (I_S) in dual purpose sheep. Selection indices were calculated using records of the Merino Precoz sheep flock of the Estación Experimental Rinconada de Maipú, University of Chile. The traits included in the breeding objective for each I_S were: greasy fleece weight (GFW), fibre diameter (FD), birth weight (BW) and birth to weaning growth rate (GR). Genetic parameters were obtained from the literature and phenotypic parameters belong to the population. Genetic-economic changes (ΔH), which would result as a consequence of using each index with and without constraints, and when selection is realized to change a single trait, were estimated. The efficiency of each I_S was compared in relation to I_{S1} which considered GFW, FD, BW and GR as both selection objective and selection criteria. In the simulations, GR was the trait that contributed most to the breeding goal. Although Merino Precoz is a dual purpose breed, relative importance of traits associated to wool were lower than those related to body weight, because when GFW and FD were restricted a relative high efficiency, compared to I_{S1} , was still obtained (87.89%) which is very similar to selecting only for GR (85.43%). Under the current Chilean economic scenario, FD restriction for this breed would be recommended because efficiency, when DF was restricted, was 98.85% of that reached by the unrestricted I_{S1} . It was noted that, when three of the unrestricted selection index simulated, genetic gain in GR was slightly greater than what was obtained by selecting solely for GR (5.96, 6.35 and 6.19 g per day⁻¹ vs. 5.91 g per day⁻¹). From all the selection indexes without constrain, it is expected a small increase in FD (<1%).

Key words: Merino Precoz, selection indexes, relative efficiency.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar cuatro índices de selección (I_S) en ovinos doble propósito. Para ello se estimaron las ponderaciones económicas relativas de cada característica considerada como objetivo de selección, estas fueron: peso del vellón sucio (PVS), diámetro de fibra (DF), peso al nacer (PN) y tasa de crecimiento nacimiento-destete (TC). Los parámetros genéticos utilizados corresponden a una revisión de literatura y parámetros fenotípicos corresponden a la población en estudio de los ovinos Merino Precoz de la Estación Experimental de Rinconada de Maipú de la Universidad de Chile. Se calculó la eficiencia genético-económica (ΔH) de la utilización de cada índice con y sin restricciones y cuando la selección se hace solo para una característica. La eficiencia relativa de cada opción fue comparada con relación al I_{S1} que consideró PVS, DF, PN y TC como variables objetivo y criterio de selección. De las simulaciones realizadas, TC fue la característica que contribuyó en mayor medida al objetivo de mejoramiento. Aun cuando Merino Precoz es una raza doble propósito, la importancia de las características de vellón, bajo el esquema económico actual en Chile, es inferior a las de crecimiento, pues si se restringen PVS y DF se obtiene alta eficiencia relativa con relación al I_{S1} (87,89%), eficiencia muy similar a la posibilidad de seleccionar solo por TC (85,43%). Para esta raza la restricción de DF sería recomendable, obteniéndose una eficiencia económica de 98,8% en comparación con I_{S1} . Cuando se emplea el índice sin restricciones (I_{S1}), la ganancia en TC es mayor a la que se espera por selección directa para esta variable (6,19 vs. 5,91 g día⁻¹). Además, con relación a los distintos índices sin restricciones simulados, se esperaría un leve engrosamiento en el diámetro (< 1%).

Palabras clave: Merino Precoz, índices de selección, eficiencia relativa.

INTRODUCCIÓN

La producción ovina puede incrementarse mediante un mejor manejo ambiental o bien por el mejoramiento genético. Esto último, aunque es más lento es permanente y acumulativo (Conington y col 2001). En ovinos de carne y lana se necesita mejorar más de una característica, lo que

se logra de manera más eficiente con la utilización de un índice de selección (Turner y Young 1969). Al seleccionar por una sola variable pueden modificarse otras en dirección favorable o desfavorable dependiendo de las correlaciones genéticas entre ellas. Al seleccionar simultáneamente por varias características el progreso en cada una de ellas es en general menor, pero el retorno económico acumulado es mayor si se estima adecuadamente la ponderación óptima que debe otorgarse a cada una de ellas (Mueller 2000). Los índices de selección (Hazel 1943) permiten la identificación de aquellos animales que al ser usados

Aceptado: 26.12.2013.

* Private Bag 11,222, New Zealand; felipelembeye@gmail.com

como reproductores, logran el mejoramiento genético que maximiza el retorno económico.

Para razas doble propósito como Merino Precoz (MP), distintos autores han señalado características de importancia económica para programas de mejoramiento genético (Mueller 1985, García 1986, Fogarty y Gilmour 1993, Matebesi-Ranthino 2007). Entre estas se destacan: peso del vellón sucio y limpio, diámetro de la fibra, largo y resistencia a la tracción de la lana, peso vivo, ganancia de peso y número de corderos destetados.

El objetivo de este trabajo es comparar diferentes índices de selección sin restricciones; con restricciones, restringiendo una o varias características; y selección directa por un solo carácter en ovinos MP manejados en un sistema extensivo en la zona central de Chile.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se construyeron diferentes índices de selección basados en información fenotípica del rebaño MP pertenecientes a la Estación Experimental Rinconada de Maipú de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, ubicada en la comuna de Maipú, Región Metropolitana, Chile (33°31' Lat. Sur; 70°50' Long. Oeste; 470 msnm).

Las características consideradas como criterio de selección, es decir, las características que son medidas en los animales y por tanto conforman el índice de selección (I_S), fueron peso al nacimiento (PN), tasa de crecimiento nacimiento-destete (TC), peso de vellón sucio (PVS) y diámetro de fibra (DF); esta descripción corresponde al I_{S1} . Debido a que en muchas situaciones el registro de PVS es un proceso complejo, se consideró como alternativa un I_S que incorpore el largo de mecha (LM) como variable

criterio en vez de PVS (I_{S2}). Luego, un tercer índice que considera además tanto PVS como LM (I_{S3}), y finalmente, hay un I_{S4} que solo incluye PVS, DF y TC. Para cada I_S propuesto, el objetivo de selección fue incrementar el PVS, DF, PN y TC.

Los parámetros genéticos y correlaciones fenotípicas (r_p) para características del vellón y entre estas con peso vivo para razas doble propósito se obtuvieron de una revisión bibliográfica realizada por Safari y Fogarty (2003) y su posterior resumen (Safari y col 2005). Los parámetros fenotípicos estimados con datos de la población fueron promedio, coeficiente de variación (CV), desviación estándar fenotípica (σ_p) (cuadro 1) y r_p entre PN y TC (cuadro 2) (Lembeye y col 2013)¹.

Safari y col (2006) señalan que no habría una desventaja importante en utilizar parámetros genéticos que no sean propios de la población. En relación con este punto, Safari y col (2005) en su revisión de literatura indican que hay poca variación entre estimaciones de heredabilidad para la mayoría de las características relacionadas con producción; además las heredabilidades promedio registraron una baja varianza de muestreo. En contraste con lo anterior, el promedio de las r_G están basadas en pocas estimaciones y asociadas a un amplio intervalo de confianza. A pesar de ello, en un análisis de sensibilidad en ovinos, Safari y col (2006) justifican la utilización de la publicación de estos el 2005, ya que la magnitud y dirección de la respuesta a la selección dependen principalmente del producto entre el valor económico relativo y los índices de herencia (νh^2) de los caracteres considerados.

¹ Datos no publicados

Cuadro 1. Heredabilidad (h^2), varianza (σ^2) y desviación estándar (σ) fenotípica y genética, coeficiente de variación (CV), incremento neto marginal (ΔIN), valor económico relativo (ν), ponderación económica relativa y estandarizada (a) de peso del vellón sucio (PVS), diámetro de fibra (DF), largo de mecha (LM), peso al nacer (PN) y tasa de crecimiento (TC).

Heritability (h^2), phenotypic and genetic variance (σ^2) and standard deviation (σ), coefficient of variation (CV), net economic value (ΔIN), economic relative value (ν) relative and standardized economic weights (a) for dirty fleece weight (PVS), fibre diameter (DF), staple length (LM), birth weight (PN) and growth rate (TC).

	PVS (kg)	DF (μm)	LM (mm)	PN (kg)	TC (g día ⁻¹)
σ_p^2	0,30	3,31	293,8	0,52	1208,7
σ_p	0,54	1,82	17,14	0,72	34,77
CV (%)	13,98	7,7	18,4	16,8	11,6
$^1h^2$	0,38	0,57	0,48	0,19	0,17
σ_A	0,34	1,37	11,9	0,31	14,33
ΔIN	762,8	-65,4	-	551,5	66,6
$^2\nu_r$	11,7	-1	-	8,4	1,02
a_s	255,8	-89,9	-	173,1	954,8
a_r	17,4%	6,1%	-	11,7%	68,8%

(¹) h^2 se obtuvieron de Safari y col (2005) correspondiente a razas doble propósito.

(²) El valor económico relativo corresponde al ingreso neto marginal de cada característica con relación a diámetro de fibra.

Cuadro 2. Correlaciones (r) y covarianzas (cov) genética y fenotípica entre peso del vellón sucio (PVS), diámetro de fibra (DF), largo de mecha (LM), peso al nacer (PN) y tasa de crecimiento (TC).

Genetic and phenotypic correlations (r) and covariances (cov) among dirty fleece weight, fibre diameter (DF), staple length (LM), birth weight (PN) and growth rate (TC).

	PVS-DF	PVS-LM	PVS-PN	PVS-TC	DF-LM	DF- PN	DF- TC	LM-PN	LM-TC	PN- TC
r_p	0,31	0,32	0,24	0,25	0,19	-0,05	0,05	0,00	0,01	0,00
Cov_p	0,31	2,98	0,09	4,73	5,94	-0,07	3,16	0,00	5,98	0,00
r_G	0,36	0,44	0,21	0,24	0,19	0,18	0,05	0,05	0,17	0,27
Cov_G	0,17	1,75	0,02	1,15	3,11	0,08	0,98	0,19	29,03	1,21

Correlaciones fenotípicas entre características de lana, y entre estas con PN y TC se obtuvieron de los valores promedio que entrega la literatura (Safari y col 2005).

ÍNDICE DE SELECCIÓN SIN RESTRICCIONES

Para la construcción de un I_S , el primer paso es definir las características de importancia económica que interesan ser genéticamente mejoradas (Simm 1998). El valor de cría agregado (H) corresponde a la sumatoria del valor genético de cada carácter objetivo ponderado por su valor económico relativo. En este trabajo H es definido según la siguiente expresión:

$$H = v_{PVS}G_{PVS} + v_{DF}G_{DF} + v_{PN}G_{PN} + v_{TC}G_{TC} \quad [1]$$

Donde H es el mérito genético o valor de cría agregado, v_i corresponden a los valores económicos de la característica i . G_i corresponde al valor genético de la característica i . El objetivo de selección puede ser expresado en notación matricial como $v'g$. Un estimador de H fue derivado por Hazel (1943), el que es: $I = b'p$, donde I = índice de selección; b' = vector de ponderaciones y p = vector de observaciones fenotípicas corregidas por factores no genéticos. Hazel (1943) demostró que este estimador maximiza la correlación entre H e I , y minimiza la varianza de las diferencias entre H e I . Para mayor detalle de la igualdad $H = I$, consultar Cameron (1997).

En el I_S , el valor fenotípico corregido de cada característica (X_i) se pondera por un coeficiente (b_i), que permite maximizar el beneficio genético-económico. Las expresiones para este trabajo se derivan de Cameron (1997):

La estructura del índice de selección sin restricciones fue la siguiente:

$$I_S = b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad [2]$$

Donde I_S : índice de selección. b_i : corresponde a las ponderaciones de cada variable criterio de selección. X_i : corresponde a los valores fenotípicos, corregidos por efectos ambientales identificables, de cada una de las características medidas.

Para la estimación de los valores de las ponderaciones del índice (b) se utilizó la siguiente igualdad:

$$b = P^{-1} \cdot G \cdot v \quad [3]$$

Donde G es la matriz de (co)varianzas genéticas, P^{-1} es la matriz inversa de (co)varianzas fenotípicas, v y b son vectores definidos anteriormente para H e I , respectivamente.

La varianza (σ_G^2) y desviación estándar genética (σ_G) necesarias para la construcción de los índices de selección se obtuvieron mediante la siguiente expresión:

$$\sigma_G = \sqrt{h^2 \cdot \sigma_p^2} \quad [4]$$

Las covarianzas fenotípicas y genéticas entre dos características (X e Y) se obtuvieron multiplicando la correlación fenotípica o genética entre ellas (r_{XY}) por las respectivas desviaciones estándar.

$$Cov_{XY} = r_{XY} \cdot \sigma_X \cdot \sigma_Y \quad [5]$$

El cambio estimado en cada una de las características consideradas en el índice (Δ_i) se calculó con la siguiente fórmula, considerando una intensidad de selección igual 1:

$$\Delta_i = \frac{b'G_i}{\sqrt{b'Pb}} \quad [6]$$

Donde b' corresponde al vector de ponderadores transpuesto, G_i es el vector columna del carácter i de la matriz de varianzas y covarianzas genéticas y $\sqrt{b'Pb}$ corresponde a la desviación estándar del I_S .

Se determinó la eficiencia económica del uso del índice de selección como un cambio en valor de cría agregado (ΔH), después de una generación, con una intensidad de selección igual a 1 con la siguiente ecuación:

$$\Delta H = v_{PVS}\Delta_{PVS} + v_{DF}\Delta_{DF} + v_{PN}\Delta_{PN} + v_{TC}\Delta_{TC} \quad [7]$$

CÁLCULO DE LOS VALORES Y PONDERACIONES
ECONÓMICAS

El valor económico es definido como el incremento en el ingreso neto (ΔIN) por unidad de cambio del carácter (ΔX_i), manteniendo las otras características constantes (García y Gallardo 2005). El cálculo del valor económico para cada variable se determinó mediante la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta IN}{\Delta X_i} = \Delta X_i \cdot P_{X_i} \quad [8]$$

Donde ΔIN corresponde al incremento en el ingreso neto por unidad de incremento de la característica X_i , mientras que P_{X_i} corresponde al precio de cada unidad de dicha característica. Posteriormente, el ΔIN se relativizó con relación a DF obteniendo así valores económicos relativos (v_i) para su utilización en los I_S .

La valorización de las distintas características consideraron los siguientes supuestos: (i) Precio en pie del kilogramo de cordero como el precio promedio de venta pagado a productor en feria del período 1990-2011, este valor correspondió a \$ 737 (ODEPA²). (ii) No se asumió costo energético para producción del vellón, ya que su demanda nutricional es mínima (Nicol y Brookes 2007). (iii) El valor económico de DF se calculó a partir de la regresión existente entre diámetro de fibra y el PVS, utilizando los registros históricos del Servicio Nacional de Evaluación Genética de Reproductores Ovinos y PROLANA, Argentina³. (iv) Para el precio del dólar se consideró el valor promedio en Chile del año 2011. (v) Se consideró que los animales son manejados en condiciones extensivas utilizando el pastizal natural mediterráneo. (vi) Se supuso un consumo adicional de 6,1 kg de MS, que implica aumentar un kilo de peso vivo al destete, esto a causa de una demanda energética es 58 MJ de EM (Nicol y Brookes 2007), y la concentración energética del pastizal es de 9,5 MJ kg⁻¹ de EM para la época de destete (Ovalle y Squella 1996).

El ΔIN calculado mediante la ecuación 9 no entrega una indicación del orden de importancia de cada característica en el objetivo de mejoramiento, ya que estas están expresadas en distintas unidades de medida. Para una mejor comparación se calcularon ponderaciones económicas estandarizadas (a_{S_i}), de acuerdo con el procedimiento descrito por Wolfová y col (2009). La a_{S_i} se calculó como el producto del ΔIN y la desviación estándar genética de

cada característica. Luego se determinó la ponderación económica relativa expresada en porcentaje de acuerdo con la siguiente fórmula adaptada de Van Raden (2002):

$$a_{r_i} = 100 \cdot \frac{a_{S_i}}{\sum a_s} \quad [9]$$

Donde a_{r_i} es la ponderación económica relativa de la característica i , a_{S_i} es la ponderación económica estandarizada del carácter i expresada en términos absolutos, $\sum a_s$ corresponde a la sumatoria de las ponderaciones económicas estandarizadas expresadas en términos absolutos.

SELECCIÓN A FAVOR DE UNA CARACTERÍSTICA

En este trabajo se calculó también la respuesta directa a la selección por una sola característica (R_X). Para este cálculo se utilizó la siguiente fórmula (Cameron 1997):

$$R_X = i \cdot \sigma_{P_X} \cdot h_X^2 \quad [10]$$

Donde i : intensidad de selección. σ_{P_X} : desviación estándar fenotípica de la característica X . h_X^2 : heredabilidad de la característica X .

Los cambios que se esperan en otra característica (Y) como consecuencia de la selección por la característica X se obtuvieron mediante la respuesta correlacionada (Cameron 1997):

$$RC_Y = i_x \cdot r_{G_{XY}} \cdot h_X \cdot h_Y \cdot \sigma_{P_Y} \quad [11]$$

Donde RC_Y : respuesta indirecta en una variable Y al realizar selección directa por X . i_x : intensidad de selección utilizada al seleccionar por X . $r_{G_{XY}}$: correlación genética entre X e Y . h_X : raíz cuadrada de la heredabilidad de la característica X . h_Y : raíz cuadrada de la heredabilidad de la característica Y . σ_{P_Y} : desviación estándar fenotípica de la variable Y .

ÍNDICE DE SELECCIÓN CON RESTRICCIONES

En este trabajo se simuló la ganancia genética-económica al utilizar un índice de selección restringiendo a cero el cambio de una o varias características de acuerdo con la metodología descrita por Kempthorne y Nordskog (1959). Los cálculos se realizaron tomando en consideración las variables criterios correspondiente al I_{S1} . De acuerdo con Kempthorne y Nordskog (1959), los coeficientes de ponderación se obtienen mediante la siguiente fórmula:

$$b = \left[I^* - P^{-1} \cdot G^* \cdot \left(G^* \cdot P^{-1} \cdot G^* \right)^{-1} \cdot G^* \right] \cdot P^{-1} \cdot G \cdot a \quad [12]$$

Donde b : vector de ponderaciones desconocidas a estimar. I^* : Matriz de identidad. G^* : hileras de G para las variables cuyo cambio será igual a cero.

² <http://www.odepa.gob.cl/ServletSeriesPreciosScr?jsessionid=DD91E7D996DC1C08C02514C5E7BC1CE1?modulo=4&menu=precios&item=rubros&rubro=pecuario>

³ http://64.76.123.202/site/ganaderia/ovinos/03=Precios/01=Precios%20Lana/_archivos/000000-Evoluci%F3n%20de%20precios%20de%20lana/000000_Evolucion%20precios%20orientativos%20lana%201995-2010.pdf

EFICIENCIA RELATIVA (ER)

La eficiencia de cualquier criterio de selección en relación con el índice sin restricciones se calculó de la siguiente forma:

$$ER = \frac{\Delta H_{I_i}}{\Delta H_{I_S}} \cdot 100 \quad [13]$$

Donde ΔH_{I_i} : corresponde a la ganancia genético-económica que se obtiene con un índice de selección con restricciones o a favor de una sola característica o bien I_{S2} , I_{S3} e I_{S4} . ΔH_{I_S} : definido anteriormente como la ganancia genético-económica que se obtiene con el índice de selección sin restricciones (I_{S1}).

RESULTADOS

ESTIMACIÓN DE VALORES ECONÓMICOS

Los incrementos económicos netos y relativos, como así también las ponderaciones económicas, se presentan en el cuadro 1.

Peso del vellón sucio. El valor correspondió a \$ 762,8. Como se indicó en los supuestos esta característica no tiene un costo energético de producción asociado.

Diámetro de fibra. El incremento neto para DF fue \$ -65,4. Este valor es negativo, ya que el objetivo es disminuir el diámetro. A pesar que esta ponderación se calculó con valores económicos de otro país, su valor corresponde aproximadamente a 8,6% de la ponderación

de PVS. Esto es cercano a la importancia relativa de 8% asignada para ovinos doble propósito en Australia, cuyo objetivo de la selección es aumentar el vellón y disminuir diámetro⁴ (Taylor y col 2007).

Tasa de crecimiento. El costo de cada gramo en TC es de \$ 0,72, la edad promedio al destete fue 92,4 días, por tanto el aumento de un gramo en TC representa un aumento de \$ 66,6 en ΔIN .

Peso al nacer. Esta ponderación se estimó regresando PD sobre PN, el valor de esta regresión y el ingreso extra calculado fueron 0,8 kilos y \$ 551,5, respectivamente.

ÍNDICE SIN RESTRICCIONES

En el cuadro 2 se presentan los valores de correlaciones (r) y covarianzas (cov) genética y fenotípica entre las características estudiadas en este trabajo. En el cuadro 3 se presentan los valores de los coeficientes de ponderación (b_i), el incremento obtenido en cada característica con $i=1$, el incremento genético económico ΔH a obtener por generación y la ER esperada de cada I_S . En el cuadro 3 se entregan además las ER al seleccionar en forma directa solo a favor de un carácter.

⁴ Taylor P, T Bird-Gardiner, K Atkins, S Mortimer. 2007. Reaping the Rewards of the QPLU\$ Project (EC919). NSW Department of Primary Industries Orange Agricultural Institute Trangie Agricultural Research Centre. Disponible en: <http://legacy.sheepgenetics.org.au/Document/70/Q%20Plus%20Final%20Report.pdf> , Fecha de consulta, 10 de enero 2012].

Cuadro 3. Coeficientes de ponderación (b_i), ganancia genética (ΔG_i), incremento en el mérito genético económico (ΔH) y eficiencia relativa (E.R.) usando distintos índices de selección o seleccionando a favor de una sola característica.

Weights (b_i), genetic gain (ΔG_i), genetic merit improvement (ΔH) and relative efficiency (E.R.) of using different selection indices or selecting for a single trait.

	I_{S1}	I_{S2}	I_{S3}	I_{S4}	Solo PVS	Solo DF	Solo PN	Solo TC
b_{PVS}	4,324	-	2,920	5,619	1	-	-	-
b_{DF}	0,025	0,142	-0,085	-0,359	-	1	-	-
b_{PN}	4,058	4,902	4,313	-	-	-	1	-
b_{TC}	0,181	0,197	0,186	0,162	-	-	-	1
b_{LM}	-	0,159	0,134	-	-	-	-	-
ΔPVS (Kg)	0,100	0,079	0,105	0,109	0,207	-0,091	0,031	0,033
ΔPVS (%)	2,57	2,03	2,70	2,80	5,31	-2,34	0,79	0,85
ΔDF (μm)	0,159	0,165	0,154	0,059	0,305	-1,036	0,108	0,028
ΔDF (%)	0,67	0,70	0,65	0,25	1,28	-4,36	0,45	0,12
ΔPN (Kg)	0,091	0,094	0,090	0,042	0,041	-0,043	0,137	0,035
ΔPN (%)	2,11	2,20	2,09	0,98	0,95	-0,99	3,18	0,81
ΔTC (g/día ⁻¹)	5,963	6,350	6,189	5,662	2,121	-0,541	1,687	5,910
ΔTC (%)	1,99	2,12	2,07	1,89	0,71	-0,18	0,56	1,98
ΔH	7,89	8,07	8,18	6,98	4,64	-0,94	3,25	6,74
ER	100	102,26	103,65	88,40	58,75	-11,95	41,17	85,43

I_{S1} : PVS, DF, PN y TC. I_{S2} : LM, DF, PN y TC. I_{S3} : PVS, LM, DF, PN y TC. I_{S4} : PVS, DF y TC.

Llama la atención que incluir el LM (I_{S2}) sería una mejor alternativa en comparación al I_{S1} , ya que en este caso se espera una eficiencia 2,26% mayor (cuadro 3). Como era de esperar en el I_{S3} , cuando se incorpora otra variable correlacionada genéticamente con las características objetivo se espera una mayor ganancia genético-económica, la ER de esta opción en relación con el I_{S1} es 3,65% superior. Por otra parte, la ER de I_{S4} con relación a I_{S1} es de 88,95% (cuadro 3).

Selección directa. Como se observa en el cuadro 3, en general, al seleccionar por una sola característica se obtienen importantes pérdidas en ΔH con relación a I_{S1} . La mayor ER con relación a I_{S1} se obtiene cuando el criterio único de selección es TC (85,43%), cuyo incremento sería 5,91 g día⁻¹. Esto ocurre principalmente debido a su mayor ponderación relativa (cuadro 1). De forma interesante, en este trabajo el incremento esperado en TC por selección directa es menor que cuando se utiliza un índice sin restricciones (I_{S1} , I_{S2} e I_{S3}). En estos casos se obtendría un aumento de 5,96 g día⁻¹, 6,35 g día⁻¹ y 6,19 g día⁻¹, para los índices I_{S1} , I_{S2} e I_{S3} , respectivamente (cuadro 3). Lo anterior se explica por las favorables r_G y r_P de TC con PVS y PN que potencian la respuesta en TC al seleccionar usando los respectivos índices.

Cuando se selecciona directamente por PVS o DF se espera una respuesta correlacionada entre estas variables sobre 1%. La respuesta correlacionada que se obtendría en PN y TC a consecuencia de seleccionar por una de estas dos características es inferior al 1% (cuadro 3). La respuesta correlacionada que se espera en TC al seleccionar por PN es 1,69 g día⁻¹ (0,56%) y en PN al seleccionar por

TC de 35 g (0,81%). La selección por PVS produciría un incremento de esta variable de 0,21 kg (cuadro 3). La respuesta correlacionada de PN (41 g) y de TC (2,12 g/día⁻¹), pero el DF aumentaría desfavorablemente en 0,31 micras (cuadro 3).

Cuando se selecciona a favor de finura se espera que disminuya el DF en 1,04 micras. En este caso como efecto indirecto todas las demás características sufrirían modificaciones desfavorables (cuadro 3). La ER de la selección únicamente por DF, en comparación al I_{S1} fue de -11,95%, lo que significa que esta alternativa no solo es menos eficiente, sino que además con este esquema el productor estaría generando menores ingresos que los actuales.

ÍNDICE CON RESTRICCIONES

El cuadro 4 muestra la respuesta genética en cada característica (ΔG_i) y la eficiencia genético-económica (ΔH) al usar índices con. Como se observa en el cuadro 4, TC es la característica que al ser restringida provoca la mayor pérdida de eficiencia con relación a I_{S1} . Cuando se restringe únicamente TC la ER cae a 30,06%; en cambio la restricción promedio de las otras características reporta una ER promedio de 89,05%. Cuando se restringen dos características, y una de ellas es TC, la ER promedio se reduce a 23,93%, sin embargo, cuando se restringen dos de cualquiera de las otras características, la ER promedio se reduce solo a 79,67%. Una tendencia similar ocurre al restringir PVS, DF y PN (66,75%) en comparación a cuando se restringen tres características y una de ellas es TC (ER promedio 17,2%) (cuadro 4).

Cuadro 4. Respuesta genética esperada en cada característica (ΔG_i) y eficiencia genético-económica (ΔH) usando índices de selección con y sin restricciones.

Expected genetic response for each trait (ΔG_i) and relative genetic merit efficiency (ΔH) using with and without restriction selection indices.

Índice	Tipo de restricción	ΔPVS		ΔDF		ΔPN		ΔTC		ΔH	Eficiencia relativa (%)
		Kg	%	μm	%	Kg	%	g/día ⁻¹	%		
I_{S1}	Ninguna	0,100	2,57	0,159	0,67	0,091	2,11	5,963	1,99	7,89	100,00
I_{PVS}	PVS	0,000	0,00	-0,046	-0,19	0,087	2,03	6,010	2,01	6,94	87,99
I_{DF}	DF	0,088	2,27	0,000	0,00	0,082	1,91	5,924	1,98	7,80	98,85
I_{PN}	PN	0,094	2,42	-0,128	-0,54	0,000	0,00	4,983	1,67	6,34	80,32
I_{TC}	TC	0,181	4,65	0,153	0,65	0,047	1,11	0,000	0,00	2,37	30,06
$I_{PVS \text{ y } DF}$	PVS y DF	0,000	0,00	0,000	0,00	0,090	2,09	6,024	2,02	6,94	87,89
$I_{PVS \text{ y } PN}$	PVS y PN	0,000	0,00	-0,319	-1,34	0,000	0,00	5,193	1,74	5,64	71,49
$I_{PVS \text{ y } TC}$	PVS y TC	0,000	0,00	-0,436	-1,83	0,079	1,84	0,000	0,00	1,11	14,07
$I_{DF \text{ y } PN}$	DF y PN	0,105	2,70	0,000	0,00	0,000	0,00	4,928	1,65	6,28	79,59
$I_{DF \text{ y } TC}$	DF y TC	0,171	4,40	0,000	0,00	0,040	0,93	0,000	0,00	2,35	29,73
$I_{PN \text{ y } TC}$	PN y TC	0,187	4,81	-0,011	-0,04	0,000	0,00	0,000	0,00	2,21	27,96
$I_{PVS, DF \text{ y } PN}$	PVS, DF y PN	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	5,140	1,72	5,27	66,75
$I_{PVS, DF \text{ y } TC}$	PVS, DF y TC	0,000	0,00	0,000	0,00	0,117	2,72	0,000	0,00	0,99	12,55
$I_{PVS, PN \text{ y } TC}$	PVS, PN y TC	0,000	0,00	-0,871	-3,67	0,000	0,00	0,000	0,00	0,88	11,10
$I_{DF, PN \text{ y } TC}$	DF, PN y TC	0,188	4,83	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	2,21	27,96

De las restantes características, la mayor ER se produce cuando se restringe solamente DF (98,8%), esto explicado por la menor importancia económica de esta variable. Lo señalado es importante para aquellos planteles que posean una finura promedio requerida por la industria y deseen que esta característica permanezca constante. La restricción de PN, en cambio, es la que produce la mayor pérdida de eficiencia después de TC, aunque la ER es sustancialmente mayor a la restricción de TC (80,32%) (cuadro 4).

Es importante destacar que cuando se restringen dos características, la mayor ER se obtiene cuando se restringen las características de lana, en este caso, la ER esperada con relación al I_{S1} es de 87,89%. La eficiencia de esta opción, es muy similar a la posibilidad de seleccionar solo por TC (85,43%).

Se destaca que al restringir DF, el incremento posible de lograr en TC es prácticamente el mismo al obtenido cuando se utiliza I_{S1} , mientras que el incremento de TC cuando se restringe PVS se esperaría una mayor respuesta en esta variable en comparación al I_{S1} (cuadro 4).

DISCUSIÓN

En ovinos Merino y razas doble propósito se han realizado distintos trabajos de simulación para mejorar múltiples características mediante índices de selección (Mueller 1985, Lanari y col 1994, Fogarty y Gilmour 1993, Safari y col 2006, Valera y col 2009). Además, distintas experiencias como resultado de programas de selección genética han sido publicadas en Australia (Atkins 1997, Swan y col 2009), Argentina (Mueller 1998, 2000, 2001, 2003, 2005) (Sacchero y Mueller 2007) y Sudáfrica⁵ (Olivier y col 1995). En estos países, la selección de animales se ha realizado para similares objetivos de selección; estos han sido aumentar peso del vellón, disminuir DF y aumentar el peso corporal de las borregas a los doce meses. La metodología empleada ha sido selección individual y también por la estimación de valores genéticos aditivos usando metodología BLUP (Best Linear Unbiased Predictor, Henderon 1950).

El mayor valor de ΔH de I_{S2} en comparación al I_{S1} se debe a una mayor respuesta en TC (5,96 vs. 6,35 g día⁻¹), esto se obtendría a pesar de una mayor r_G de PVS con TC en comparación con la r_G entre LM con TC (cuadro 2). Aunque LM no es una variable objetivo, se obtendría una mayor ΔH cuando se utiliza esta característica como criterio de selección, ya que, en este caso, el coeficiente de ponderación (b_i) para PN y TC es mayor en I_{S2} en comparación al I_{S1} .

Debido a que en el I_{S4} se elimina una variable de peso vivo como PN, la ER disminuye a 85,95%. Con este índice se obtendría el menor incremento en DF (0,25%)

en comparación a los otros I_s . Estos resultados sugieren que, a pesar de las r_G favorables entre peso vivo y peso de vellón, la utilización de un índice limitaría la respuesta en características de vellón cuando en el índice también hay características de peso vivo (Morris y col 1996).

La r_G entre peso de vellón y peso vivo con DF presenta signo positivo, pero esta es desfavorable, ya que un incremento en el PVS o en características de peso vivo traería como consecuencia un engrosamiento indeseado en el DF. Existen, sin embargo, evidencias en diversos países que demuestran la factibilidad de incrementar por selección el PVS y/o peso vivo, sin modificar e incluso disminuir el DF en razas doble propósito y de lana. En estos proyectos se formaron núcleos y se utilizó la selección individual combinada con registros de parientes usando una estimación de valores de cría basado en la metodología BLUP.

Los resultados atingentes a selección indirecta son congruentes a lo encontrado por Morris y col (1996), quienes señalan que existe una mayor respuesta correlacionada para características de vellón cuando se selecciona por alguna de estas variables. Los autores indican que la respuesta correlacionada que se obtiene entre características de crecimiento son menores cuando se selecciona por peso o TC. Las conclusiones de Morris y col (1996) se explican por la mayor r_G entre características de vellón en comparación a la r_G entre características de crecimiento. Los resultados de este trabajo sugieren que se puede obtener incrementos favorables en caracteres de interés cuando se selecciona por PVS. Esta conclusión es compartida por Blair y col (1985), quienes concuerdan que la selección por PVS trae como consecuencia una notable respuesta en peso de vellón, moderados incrementos en LM y DF y pequeñas respuestas en peso vivo, aunque no significativas para PN.

La disminución del DF estaría en concordancia con lo reportado por Sherlock y Garrik (1995) y Mueller (2000). Una selección para disminuir el DF produce una alta calidad de la fibra con un pequeño descenso en peso del vellón. De las simulaciones realizadas en este trabajo, este esquema sería el menos eficiente (cuadro 3).

Los resultados de este trabajo demuestran que, bajo el escenario económico usado, TC es la variable que más influye en el mejoramiento genético y económico (ΔH), esto por la alta ponderación relativa de este carácter, que representa 68,8% del objetivo de mejoramiento (cuadro 1). Incluso la selección solo a favor de TC mostraría una pérdida de eficiencia poco importante en relación con I_{S1} .

La fortaleza de TC como criterio de selección es que se exterioriza antes que los animales se reproduzcan. La principal debilidad radica en que la heredabilidad es mediana a baja, por lo tanto la incorporación de registros de producción de parientes produciría un importante incremento en la seguridad con que se estima el valor de cría de los animales. El uso de un modelo animal, para la estimación de valores de cría, permitiría lograr ventajas importantes respecto de la selección individual (Rodríguez y col 2004). El principal problema en el uso de la metodología BLUP

⁵ Erasmus G, C Pettit. 1981. Response to selection in a group-breeding scheme for Merino Sheep. Disponible en: <http://gadi.agric.za/articles/Agric/group.htm> [Consulta 27 de febrero 2012].

en este tipo de explotaciones es el manejo extensivo, esto imposibilita conocer la paternidad de los corderos si es que no se utiliza inseminación artificial (IA) o encastes dirigidos.

Por otra parte, las características de vellón además de tener moderadas a altas heredabilidades, presentan elevadas repetibilidades. En este caso, la selección basada en registros individuales, considerando solo el primer registro al año de edad, es un buen estimador de la producción futura de los animales (Okut y col 1999).

Debido a las razones expuestas anteriormente, la opción para los productores es la formación de núcleos, en los cuales la esquila y la medición de otras características de importancia se registren al año de vida. La medición de características de peso vivo y crecimiento postdestete presentan menor influencia materna en relación con caracteres de crecimiento predestete (Simm 1998); y por este motivo los índices de herencia son más altos (h^2 para peso postdestete y peso adulto: 0,29 y 0,31, respectivamente, en razas doble propósito (Safari y col 2005)), por lo que podrían ser mejores indicadores que caracteres de peso y crecimiento evaluados al destete.

Como ocurre en países de ganaderías desarrolladas, la implementación de núcleos para la industria ovina implicaría que un pequeño porcentaje de la población, por lo general el 1,5%, fuera responsable del cambio genético mientras que el 98,5% restante sería destinado a la producción comercial de carne y lana. Lo planteado anteriormente sugiere que para los pequeños y medianos productores la alternativa más viable debiera ser la compra de carnerillos mejorados en los planteles núcleos, los que hayan implementado IA, de modo de poder hacer uso de métodos más eficientes de selección como el BLUP (Mueller 1998).

REFERENCIAS

- Atkins K 1997. Genetic improvement of wool production. In: Piper L, Ruvinsky A (eds). *The genetics of sheep*. CAB International, Oxon, UK, Pp 471-504.
- Blair H, D Garrick, A Rae, G Wickham. 1985. Selection responses in New Zealand Romney sheep. 2. Selection for yearling greasy fleece weight. *New Zeal J Agr Res* 28, 257-264.
- Cameron N. 1997. *Selection indices and prediction of genetic merit in animal breeding*. CAB International, Wallingford, UK.
- Conington J, S Bishop, B Grundy, A Waterhouse, G Simm. 2001. Multi-trait selection indexes for sustainable UK hill sheep production. *J Anim Sci* 73, 413-423.
- Fogarty N, A Gilmour. 1993. Sensitivity of breeding objectives to prices and genetic parameters in Australian and Polwarth dual purpose sheep. *Aust J Exp Agr* 33, 259-268.
- García G. 1986. Características de las razas ovinas criadas en Chile. En: García G (ed). *Producción ovina*. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile, Pp 9-21.
- García X, J Gallardo. 2005. Predictores del valor de cría: índices de selección y metodología de los modelos mixtos. *Publicación Docente N°17*. Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Hazel L. 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* 28, 476-490.
- Henderson C. 1950. Estimation of genetic parameters. *Ann Math Stat* 21, 309-310.
- Kemphorne O, A Nordskog. 1959. Restricted selection indexes. *Biometrics* 15, 10-19.
- Lanari M, E Tronfi, J Mueller. 1994. Revisión de índices de selección Provino para la raza Merino en la Argentina. *Comunicación Técnica PA N°244*. INTA EEA Bariloche, Bariloche, Argentina.
- Matebesi-Ranthimo P. 2007. Genetic parameters for subjective and objective wool and body traits in the Tygerhoek Merino Flock. *MSc thesis*, University of Free State, Bloemfontein, South Africa.
- Morris C, D Jhonson, R Sumner, G Hight, J Dobbie, K Jones, A Wrigglesworth, S Hickey. 1996. Single trait selection for yearling fleece weight or live weight in Romney sheep-correlated response in liveweight, fleece traits, and ewe reproduction. *New Zeal J Agr Res* 3, 95-106.
- Mueller J. 1985. Implementación de planes de mejoramiento ovino. I Objetivos de mejoramiento y criterios de selección. *INTA EEA Bariloche Comunicación Técnica PA6*.
- Mueller J. 1998^a. El beneficio de seleccionar y comprar carneros. Resultados obtenidos en Pilcaniyeu. Conferencia invitada. 50 Aniversario Asociación Argentina Criadores de Merino y 60 Aniversario Sociedad Rural Comodoro Rivadavia, Chubut, 12 de febrero. *Comunicación Técnica INTA Bariloche N° PA 313*.
- Mueller J. 1998^b. Guía para el establecimiento de un núcleo genético abierto de producción de carneros. *Comunicación Técnica INTA Bariloche N° 328*.
- Mueller J. 2000. Conferencia presentada al Tercer Congreso Lanero Argentino, Trelew, 9 y 10 de febrero. *Comunicación Técnica INTA Bariloche N° PA 374*.
- Mueller J. 2001. Mejoramiento genético de las majadas patagónicas. En: Borrelli P, Oliva (eds). *Ganadería Ovina Sustentable en la Patagonia Austral-Tecnología de Manejo Extensivo*. Capítulo 10. INTA Regional Patagonia Sur, Santa Cruz, Argentina, Pp 211-224.
- Mueller J. 2003. Evaluación genética de carneros Merino en centro de prueba de INTA-Pilcaniyeu y Río Mayo. *Informe 9. INTA-Asociación Argentina Criadores Merino, AACM*.
- Mueller J, Bidinost F. 2005. Respuestas a la selección en Merino con diferentes procedimientos. *Comunicación Técnica INTA Bariloche N° PA 473*.
- Nicol A, I Brookes. 2007. The metabolizable energy requirements of grazing livestock. In: Rottary P, Brookes I, Nicol A (eds). *Pasture and supplements for grazing animals*. New Zealand Society of Animal Production, Occasional Publication No. 14, Pp 151-172.
- Okut H, C Bromley, L Van Vleck, D Snowden. 1999. Genotypic expression at different ages: II. Wool traits of sheep. *J Anim Sci* 77, 2366-2371.
- Olivier J, G Erasmus, J, Van Wyk, K Konstantinov. 1995. Response to selection on BLUP of breeding values in the Grootfontein Merino stud. *South African J Anim Sci* 25, 13-15.
- Ovalle C, F Squella. 1996. Terrenos de pastoreo con pastizales anuales en el área de influencia climática mediterránea. En: Ruiz I (ed). *Praderas para Chile*. 2ª ed. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile, Pp 429-466.
- Rodríguez J, J Delgado, J Quiroz, J León. 2004. Evaluación de la tendencia genética en la raza ovina Sugureña bajo selección masal por características de crecimiento. *IV Congreso Ibérico sobre Recursos Genéticos Animais*. Ponte de Lima, Septiembre, Portugal.
- Sacchero D, J Mueller. 2007. Diferencias en el perfil de diámetro de fibras, largo de mecha y resistencia a la tracción de la lana, en ovejas de una majada Merino seleccionada y otra no seleccionada. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 36, 49-61.
- Safari E, N Fogarty, A Gilmour. 2005. A review of genetic parameter estimates for wool, growth, meat and reproduction traits in sheep. *Livest Prod Sci* 92, 271-289.
- Safari E, N Fogarty, A Gilmour. 2006. Sensitivity of response of multi-trait index selection to changes in genetic correlations between production traits in sheep. *Aust J Exp Agri* 46, 283-290.
- Sherlock R, D Garrick. 1995. Impact of breeding technologies on the genetic gain of a Merino flock. *Proc New Zeal Soc Anim Prod* 55, 278-280.

- Simm G. 1998. *Genetic improvement of Cattle and Sheep*. Farming Press, Ipswich, UK.
- Swan A, D Brown, R Banks. 2009. Genetic progress in the Australian sheep industry. *Proc Assoc Advmt Anim Breed Genet* 18, 326-329.
- Turner H, S Young. 1969. *Quantitative genetic in sheep breeding*. MacMillan, Melbourne, Australia.
- Valera, M, F Arrebola, M Juárez, A Molina. 2008. Genetic improvement of wool production in Spanish Merino sheep: genetic parameters and simulation of selection strategies. *Anim Prod Sci* 49, 43-47.
- Van Raden P. 2002. Selection of dairy cattle for lifetime profit. In: *Proceedings of the 7th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production* 29, 127-130.
- Wolfova M, J Wolf, Z Kuprova, J. Kica. 2009. Estimation of economic values for traits of dairy sheep: I. Model development. *J Dairy Sci* 92, 2183-2194.