



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**COMPARACIÓN DE DIFERENTES ÍNDICES DE SELECCIÓN MASAL
EN OVINOS DOBLE PROPÓSITO Y DE CARNE EN LA ZONA
CENTRAL DE CHILE**

Tesis presentada para optar al grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias, mención en
Producción Animal

FELIPE LEMBEYE ILLANES

Directores de Tesis
JUAN CARLOS MAGOFKE SERENDEROS
GIORGIO CASTELLARO GALDAMES

Profesores Consejeros
HÉCTOR URIBE MUÑOZ
ROBERTO NEIRA ROA

SANTIAGO - CHILE
2012

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

TÍTULO

COMPARACIÓN DE DIFERENTES ÍNDICES DE SELECCIÓN MASAL
EN OVINOS DOBLE PROPÓSITO Y DE CARNE EN LA ZONA
CENTRAL DE CHILE

Tesis presentada para optar al grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias, mención en
Producción Animal

FELIPE LEMBEYE ILLANES

DIRECTOR DE TESIS

Juan Carlos Magofke S.
Ing. Agr. Mg. Sci.

Calificación
(Tesis de grado)

APROBADO

Giorgio Castellaro G.
Ing. Agr. Mg. Sc.

APROBADO

PROFESORES CONSEJEROS

Héctor Uribe M.
Med.Vet. M.Sc. Ph.D.

APROBADO

Roberto Neira R.
Ing. Agr. M.Sc. Ph.D.

APROBADO

	ÍNDICE	pág
RESUMEN		1
ABSTRACT		2
INTRODUCCIÓN		3
HIPÓTESIS		8
OBJETIVOS		8
MATERIALES Y MÉTODOS		9
6.1 Características generales del área del estudio		9
6.2 Estimación de parámetros genéticos		10
6.3 Estimación de parámetros fenotípicos		10
6.3.1 Estimación de las varianzas fenotípicas		14
6.3.2 Estimación de las correlaciones fenotípicas		14
6.4 Estimación de varianzas y desviaciones estándar genéticas		15
6.5 Cálculo de ponderaciones económicas		16
6.5.1 Ponderación económica para tasa de crecimiento		17
6.5.2 Ponderación económica para peso al nacimiento		18
6.5.3 Ponderación económica de características de vellón		18
6.5.4 Ponderación económica relativa y estandarizada		19
6.6 Índices de selección		19
6.6.1 Índice de selección sin restricciones		19
6.6.2 Selección a favor de una característica		22
6.6.3 Índice de selección con restricciones		23
6.6.4 Eficiencia relativa		24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		25
7.1 Parámetros genéticos en ovinos Merino Precoz y Suffolk Down		25
7.1.1 Índice de herencia		25
7.1.1.1 Características de vellón		25
7.1.1.2 Peso al nacimiento y tasa de crecimiento		26
7.1.2 Correlaciones genéticas (r_G)		27
7.1.2.1 Características del vellón		27
7.1.2.2 Peso al nacimiento y tasa de crecimiento		28
7.1.2.3 Características de crecimiento con características del vellón		29
7.2 Parámetros fenotípicos		31

7.2.1	Peso al nacer	31
7.2.1.1	Coeficiente de variación	31
7.2.1.2	Efectos no genéticos	32
7.2.2	Tasa de crecimiento	36
7.2.2.1	Coeficiente de variación	36
7.2.2.2	Efectos no genéticos	36
7.2.2.2.1	Raza Suffolk Down	37
7.2.2.2.2	Raza Merino Precoz	39
7.2.2.3	Edad al destete	41
7.2.3	Parámetros fenotípicos para características del vellón	41
7.2.3.1	Peso de vellón sucio	42
7.2.3.1.1	Coeficiente de variación	42
7.2.3.1.2	Efectos no genéticos	42
7.2.3.2	Diámetro de fibra	43
7.2.3.2.1	Coeficiente de variación	43
7.2.3.2.2	Efectos no genéticos	43
7.2.3.3	Largo de mecha	44
7.2.3.3.1	Coeficiente de variación	44
7.2.3.4	Edad a la esquila	44
7.2.4.	Correlaciones fenotípicas (r_P)	44
7.2.4.1	Correlaciones fenotípicas entre PN y TC	44
7.2.4.2	Correlaciones fenotípicas entre peso del vellón sucio, diámetro de fibra y largo de mecha	45
7.2.4.3	Correlaciones fenotípicas entre características del vellón y crecimiento en ovinos Merino Precoz	46
7.3	Estimación de las ponderaciones económicas relativas	47
7.4	Cálculo de los índices de selección	52
7.4.1	Ovinos Suffolk Down	52
7.4.2	Merino Precoz	59
7.4.3	Evaluación y proyección de los resultados obtenidos en programas de mejoramiento genético para ovinos manejados en condiciones extensivas	71
CONCLUSIONES		75
BIBLIOGRAFÍA		76
Anexo I		92
Anexo II		95
Anexo III		100

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, a mis padres, por su apoyo incondicional en todos mis proyectos profesionales y académicos, y especialmente a Macarena, mi señora a quien siempre le dedico mi mejor esfuerzo.

A mis profesores: Héctor Uribe M. y Roberto Neira R. por sus certeros consejos, y muy especialmente a Giorgio Castellaro G. y Juan Carlos Magofke S., por su guía, enseñanza, disposición e inspiración durante mi formación académica y en la realización de este proyecto.

A mis compañeros Carla Orellana y Juan Pablo Escanilla por la ayuda en la recolección y procesamiento de la información para su utilización en esta tesis.

A Carlos Alvear S y Ximena García F. por su contribución a mis conocimientos de genética animal.

RESUMEN

El objetivo de la tesis fue calcular índices de selección en ovinos especializados en la producción de carne y doble propósito. Para cumplir con este objetivo, 1) se estimaron las ponderaciones económicas relativas de cada una de las características consideradas en el índice de selección, 2) se obtuvieron parámetros genéticos a través de una revisión de literatura y parámetros fenotípicos a partir de la información disponible para ovinos Suffolk (S) y Merino Precoz (MP) de la E.E. de Rinconada, de la Facultad de Ciencias Agronómicas y 3) se calculó la pérdida en las eficiencias genético-económicas (ΔH), que se obtendría con la utilización de índices con restricciones y cuando la selección se hace para mejorar solo una característica. Las variables consideradas en el índice de selección sin restricciones (I_S) en ovinos S fueron: peso al nacer (PN) y tasa de crecimiento nacimiento-destete (TC) y en el MP: peso del vellón sucio (PVS), diámetro de fibra (DF), largo de mecha (LM), peso al nacer (PN) y tasa de crecimiento nacimiento-destete (TC). Para el cálculo de los parámetros fenotípicos (C.V. y r_P) se usaron 330 y 715 registros de PN y TC en ovinos S y MP, respectivamente. Tanto los h^2 como las r_G y las r_P entre variables de peso del vellón y peso corporal fueron obtenidas de una revisión de literatura. Los C.V. de PN fueron: 17,3 y 16,8%, en ovinos S y MP y el de TC, 12,2 y 11,6%, en el mismo orden. La r_P entre PN y TC fue 0,12 y -0,054, en ovinos S y MP, respectivamente. El valor de las r_P usadas fueron: 0,31 (PVS-DF); 0,32 (PVS-LM); 0,24 (PVS-PN); 0,25 (PVS-TC); 0,19 (DF-LM); -0,05 (DF-PN); 0,05 (DF-TC); 0,0 (LM-PN) y 0,01 (LM-TC) y el de los h^2 : PN 0,15 y 0,19 en ovinos S y MP, respectivamente y para TC: 0,17 en ambas razas. Para PVS, DF y LM, se usaron h^2 de 0,38; 0,57 y 0,48, en el mismo orden. La r_G entre PN y TC se consideró igual a 0,27, sin distinción de razas. Las r_G entre características del vellón y entre éstas con características de peso utilizadas en la raza MP fueron: 0,36 (PVS-DF); 0,44 (PVS-LM); 0,21 (PVS-PN); 0,24 (PVS-TC); 0,19 (DF-LM); 0,18 (DF-PN); 0,05 (DF-TC); 0,05 (LM-PN) y 0,17 (LM-TC). De las simulaciones realizadas, TC fue la característica que contribuyó en mayor medida al objetivo de mejoramiento en ambas razas. Cuando esta variable es restringida, ocurrirían importantes pérdidas de eficiencia en comparación al índice sin restricciones (78,24 y 70,9%, en ovinos S y MP, respectivamente). Aún cuando Merino Precoz es una raza doble propósito, la importancia de las características de vellón es inferior a las de crecimiento, ya que cuando se restringen PVS, DF y LM, se pierde solamente un 15,8% de eficiencia. Para esta raza la restricción de DF sería recomendable, ya que se obtiene una eficiencia de 98,9% en comparación al I_S sin restricciones.

Palabras claves: Índices de selección, ovinos de carne y doble propósito, eficiencia relativa.

ABSTRACT

The main purpose of the present thesis was to calculate selection indices in specialized in meat and dual purpose (wool and meat) breed. To aim this goal, 1) were estimated relative economic weights of each characteristics considered in the selection index, 2) genetic parameters were obtained through a literature review, and phenotypic parameters from the data available for sheep Suffolk (S) and Merino Precoz (MP) of the Experimental Station Rinconada, which belongs to the Faculty of Agricultural Sciences and 3) estimated the loss of genetic-economic efficiencies (ΔH), which would result from the use of restricted indexes and by selecting a single trait. The traits considered in Suffolk breed were: birth weight (BW) and growth rate from birth to weaning (G/D) and for MP breed: greasy fleece weight (GFW), fibre diameter (FD), staple length (LM), birth weight (BW) and growth rate from birth to weaning (G/D). For the calculation of phenotypic parameters (C.V. and r_p) data available of 330 and 715 records of BW and G/D were used in S and MP breed, respectively. All the r_G and r_p between traits of fleece and body weight were obtained from a literature review. The C.V. of PN was 17.3 and 16.8% in S and MP breeds, C.V. of G/D were 12.2 and 11.6% in the same order. The r_p between PN and G/D were 0.12 and -0.054, in Suffolk and Merino Precoz, respectively. The values from the literature for r_p in MP breed were: 0.31 (GFW-FD), 0.32 (GFW-SL), 0.24 (GFW-BW), 0.25 (GFW-G/D), 0.19 (FD-SL), -0.05 (FD-BW), 0.05 (FD-G/D), 0.0 (SL-BW) and 0.01 (SL-G/D). The h^2 of the characteristics obtained from the literature were 0.15 and 0.19 for BW in sheep S and MP, respectively. For G/D, h^2 used was: 0.17 in both breeds. For GFW, FD and SL were considered values of h^2 of: 0.38, 0.57 and 0.48, in the same order. The r_G also obtained from the literature, in this case the r_G between BW and G/D was 0.27, without regard breeds. The r_G between fleece traits and between fleece with weight characteristics used in the MP breed were 0.36 (GFW-FD), 0.44 (GFW-SL), 0.21 (GFW-BW), 0.24 (GFW-G/D), 0.19 (FD-SL), 0.18 (FD-BW), 0.05 (FD-G/D), 0.05 (SL-BW) and 0.17 (SL-G/D). In the simulations realized, G/D is the trait that has the most important contribution to the selection objective in both types of sheep. When this variable is restricted, it is expected significant losses of efficiency compared to the index without restrictions (78.24 and 70.9%, in S and MP, respectively). Although Merino is a dual purpose breed, the importance of the fleece's traits is less than the growth traits. When GFW, FD and SL were restricted, it was missed only 15.8% efficiency. For this breed might be recommended restriction of FD, because in this case, it would be obtained an efficiency of 98.9% compared to the I_S with no restrictions.

Key words: Selection indexes, meat sheep breed and dual purpose sheep breed, relative efficiency.

INTRODUCCIÓN

En Chile, la explotación ovina juega un papel importante si se considera el número de cabezas existentes, el tipo de pradera que aprovechan, y el uso que se da a su producción (García, 1986). Las razas más importantes son las derivadas del Merino, en los medianos productores de la zona central y particularmente la raza Corriedale, en el extremo austral del territorio nacional, que representa el 62,6% de los ovinos del país (INE, 2010). Además son importantes en el país las razas Suffolk; Hampshire y Romney Marsh.

Según García (1986) el Merino Precoz Francés o Rambouillet se introdujo en gran cantidad en los años 30 del siglo pasado especialmente a la zona central desde Illapel a Talca. El Merino Precoz Alemán también fue traído al país en los años 30 del siglo pasado. Los dos tipos, francés y alemán se cruzaron derivando el Merino Precoz, como se le conoce en el país. Por otra parte, la raza Suffolk, que produce una lana de longitud media fue traída a Chile con la intención de reemplazar al Merino, por su destacada producción de carne. Esta raza adquirió gran popularidad especialmente entre los pequeños productores de Aconcagua a Maule (Mujica, 2005). La distribución porcentual de estas razas, según una encuesta realizada por INE (Instituto Nacional de Estadísticas) y ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias) es 5,0 y 8,4% para Merino y Suffolk Down, respectivamente en el territorio comprendido entre la VI y XII Región. Considerando ambas razas esta cifra aumenta al 79,4% para el territorio comprendido entre la provincia de Cachapoal y Ñuble. (INE, 2010).

Uno de los rubros que ha tenido un importante incremento de las exportaciones en los últimos años es el mercado de la carne ovina, esto debido a una mayor demanda internacional y a la alta calidad nutricional del producto. Del total de carne ovina que se produce en el país, el 95% se exporta a Europa y EE.UU. y sólo el 5% se comercializa en Chile. La exportación de carne ovina representa, sin embargo, en términos económicos sólo el 4% de los embarques totales de carne nacional; para revertir la situación expuesta anteriormente, es necesario aumentar la masa exportable con los patrones de calidad que el mercado externo demanda. Para lograrlo se debe avanzar en distintos aspectos, donde el mejoramiento genético de las características más importantes en producción ovina es uno de ellos.

Varias características afectan la rentabilidad de la empresa. El mejoramiento de aquellas que tienen interés económico puede lograrse mediante medidas de manejo o mejorando las condiciones nutricionales de los animales. Lo anterior es rápido aunque temporal y en muchas ocasiones produce un aumento importante en los costos de producción. El aumento de la producción a través del mejoramiento genético a pesar de ser lento es, sin embargo, acumulativo (Conington *et al.*, 2001).

En Chile, el progreso genético logrado ha sido mayoritariamente consecuencia de la incorporación de reproductores o germoplasma de países extranjeros, o de la introducción de carneros de otros planteles en una misma región; esto corresponde a migración y no a selección genética dentro del plantel. En el país, sin embargo, han sido escasas las evaluaciones que informen del progreso genético en planteles ovinos doble propósito y especializados en la producción de carne. Por este motivo, se desconoce el progreso genético efectivamente logrado en los distintos planteles ovinos de doble propósito y especializados en la producción de carne, aunque se hayan registrado mejoras productivas o fenotípicas, ya que se desconoce si éstas ha ocurrido debido a un mejor manejo o efectivamente son consecuencia del mejoramiento genético. Una excepción a lo anterior es lo realizado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias en el Centro Experimental Hidango, donde se cuantificó el avance genético logrado en ovinos en peso al nacer (PN) y al destete (PD). Se usó el modelo animal y se analizó el período 2003-2010. El avance logrado para PN en las razas Poll Dorset y Texel fueron: 230 y 45 g, respectivamente, mientras que para PD este fue de 1.043 y 385 g en el mismo orden (Uribe *et al.*, 2011).

En el país, el ingreso por venta de lana es menor en comparación a la carne. Por ejemplo, en razas doble propósito (carne y lana), sobre el 80% del ingreso bruto se obtiene de la venta de corderos al destete. Por este motivo, las características de mayor importancia económica en el país son: los kilos de cordero destetado por oveja encastada y, en menor medida la producción y calidad de la lana producida por razas doble propósito (Shrestha y Vesely, 1986; García *et al.*, 2006).

La producción de carne como objetivo de selección también incorpora variables reproductivas, ya que el principal factor que determina el retorno económico es el número de corderos para la venta (Safari *et al.*, 2006). A pesar de esto, debido al bajo índice de herencia de esta característica informado por Safari *et al.* (2005) (h^2 : $0,07 \pm 0,01$), no debiera incorporarse en programas de selección dado su baja heredabilidad (Cardellino y Rovira, 1995). A pesar de los moderados a altos índices de herencia para características de canal, éstas hasta ahora no son valoradas económicamente en el mercado nacional, por lo que no se justifica por el momento su inclusión en programas de mejoramiento (h^2 de % de carne magra $0,35 \pm 0,02$; espesor de grasa dorsal en animal vivo $0,26 \pm 0,02$ y medido directamente en la canal $0,30 \pm 0,03$; área muscular $0,12 \pm 0,02$ y peso de la canal $0,20 \pm 0,02$) (Safari *et al.*, 2005).

Debido a las razones indicadas anteriormente, para características relacionadas con la producción de carne, en este trabajo de tesis sólo se consideraron peso al nacer (PN) e incremento de peso nacimiento-destete hasta los 100 días de edad (TC) como características de crecimiento tanto en ovinos de carne como de doble propósito. La alternativa podría haber sido peso al destete (PD), ya que esta variable se encuentra determinada por PN y

TC. La separación hecha es importante ya que permite restringir el PN si la frecuencia de partos distócicos aumenta. Cuando se selecciona a favor de peso a una edad determinada, indirectamente aumenta el peso al nacimiento debido a que la correlación genética entre PN y PD es positiva ($r_G=0,47$; Safari *et al.*, 2005), y por tanto podría provocar un aumento en la frecuencia de partos distócicos. Al no existir en la actualidad problemas de distocia, se consideró el PN como una característica deseable de mejorar debido a que ésta influye positivamente con la sobrevivencia post natal y tasa de crecimiento (Peters *et al.*, 1961). Utilizar como criterio de selección TC en vez de peso vivo a una edad determinada, podría ser recomendado para prevenir posibles problemas de partos distócicos, ya que la correlación genética entre PN con TC es menor ($r_G=0,27$; Safari *et al.*, 2005) a la correlación genética entre PN con PD.

La producción y la calidad de la lana también son características importantes en el ovino doble propósito. La ventaja de estas características en relación a las de peso al nacer e incremento de peso diario, es que sus heredabilidades son muy superiores, además son variables que se repiten en la vida del animal y presentan altos índices de constancia ($>0,5$ Cardellino y Rovira, 1995). Se exteriorizan, no obstante, mucho después de que los corderos para consumo son vendidos. Otra ventaja es que características como peso del vellón sucio y largo de mecha presentan correlaciones genéticas y fenotípicas positivas con características de peso vivo. El diámetro de fibra, es una variable importante en el precio que se paga por lana, ya que las fibras más finas tienen mayores aplicaciones industriales. Esta característica también presenta correlaciones genéticas y fenotípicas con características de vellón y peso vivo; sin embargo, estas correlaciones por ser positivas son desfavorables. Whitley (1994) y Atkins (1997) concuerdan que el peso del vellón sucio (PVS) es una característica de interés en ovinos de esta categoría. Además, el diámetro de fibra (DF) y el largo de mecha (LM), son variables de importancia en el procesamiento de la lana para vestimenta y por consiguiente se consideraron como objetivo de selección.

Las características de peso vivo e incremento de peso, a pesar de tener moderados a bajos índices de herencia se exteriorizan en ambos sexos antes que los animales se reproduzcan y/o se vendan. Por consiguiente es factible medirlas en ambos sexos. Como se mencionó en el párrafo anterior, las variables relacionadas con peso de vellón y calidad de la lana, a pesar de tener altas heredabilidades y también expresarse en ambos sexos, no son posibles de ser cuantificadas en el sexo macho; dado que la mayoría de estos se venden próximos al destete sin tener registros a la primera esquila. Lo anteriormente señalado representa una dificultad importante que afecta la posibilidad de que exista selección a nivel de productor para PVS y sus características. En ovinos como en el resto de las especies domésticas de importancia económica, el sexo macho tiene mayor importancia que las hembras en la selección. Esto obedece a que en ovinos sólo se requiere entre 3 y 5% de machos respecto

al número de hembras, para obtener una adecuada reproducción y por lo tanto la intensidad de selección en los machos puede ser muy superior al de las hembras.

Este problema tiene solución en aquellos predios donde el manejo reproductivo permite conocer la paternidad de los corderos. La inseminación artificial es una biotecnología reproductiva que permite obtener esta información, la cual permitiría estimar el valor de cría por el comportamiento familiar. La utilización de la metodología BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) permite disponer de una adecuada estimación del valor de cría de las características relacionadas con la lana en los machos antes que ellos expresen estos caracteres.

El método de los índices de selección fue desarrollado por Hazel (1943), esta metodología permite seleccionar simultáneamente por dos o más características, siendo este método de selección más eficiente que cuando la elección de individuos se realiza por una sola característica. La selección individual o masal, esto es, la selección basada en registros de producción de una o varias características medidas en el propio candidato, es el método más simple y generalmente entrega la mayor respuesta anual a la selección cuando las características presentan moderados a altos índices de herencia (Falconer y Mackay, 1996; Cardellino y Rovira, 1995). Para caracteres con bajos índices de herencia, la eficacia de la selección puede mejorarse sustancialmente al combinar la información fenotípica individual y de los parientes de los futuros reproductores. (Conington *et al.*, 2001).

La eficiencia de un programa de mejoramiento genético basado en índices de selección está en función a la exactitud y precisión de los parámetros genéticos utilizados (Safari *et al.*, 2006). Al seleccionar por varias características el progreso en cada una de ellas es generalmente menor que si solo se seleccionara por una variable, pero el retorno económico es mayor si se estima adecuadamente la ponderación óptima que debe otorgarse a cada una de ellas. Es por ello que los índices de selección, al estimar la ponderación óptima para cada característica, permiten la identificación de aquellos animales que al ser usados como reproductores, logran el mejoramiento genético que produce el máximo beneficio económico a través de la selección (García, 1986; Mueller, 2000).

Al formular planes de mejoramiento es necesario conocer, no sólo la respuesta en el carácter directamente seleccionado (respuesta directa), sino que además, el cambio genético que se produce en otras características relacionadas con el carácter bajo selección. Este cambio se denomina respuesta correlacionada a la selección (CR) y depende directamente de la correlación genética entre las dos variables, de la intensidad de selección que se aplique al carácter directamente seleccionado, de los índices de herencia de ambas características y de la variabilidad del carácter correlacionado (Falconer y Mackay, 1996).

Al usar índices de selección lo que se busca es maximizar las ganancias genético económicas, pero puede suceder que a consecuencia de esto, alguna característica en particular incluida en el índice, cambie demasiado su valor a través del tiempo hasta límites económicos o biológicamente inaceptables, como sucede con peso al nacer en bovinos de carne (Waldron *et al.*, 1990 y Melucci *et al.*, 2009). Interesa por tanto, usar un índice que modifique ciertos rasgos manteniendo uno u otros caracteres correlacionados constantes (ganancia genética, $\Delta G=0$) (Cunningham *et al.*, 1970). Con esta finalidad, Kempthorne y Nordskog (1959), propusieron un método que asegura un progreso igual a cero en una o varias características.

De acuerdo a lo señalado en esta revisión de literatura, al productor le interesa mejorar más de una característica; sin embargo, puede que dos o más variables estén correlacionadas de manera desfavorable. A pesar de ello, la teoría de los índices de selección (Hazel, 1943) indica que es factible el progreso genético en características con efecto antagónico, como ocurre entre diámetro de fibra con peso del vellón y con peso vivo (Wuliji *et al.*, 2001).

En Chile, probablemente, los índices de selección, no se han aplicado masivamente dado que para su correcta implementación se requiere: 1- definir los objetivos de cría a nivel regional o nacional, 2- a la dificultad de medir de manera confiable la producción de cada animal en condiciones extensivas 3- al desconocimiento de los potenciales beneficios de esta metodología y 4- a la dificultad de derivar valores económicos (Yáñez, 2005).

Como prueba de la eficacia de programas de mejoramiento genético, Cruz Colín *et al.* (2003) señalan que los países desarrollados que han logrado incrementar la producción ganadera, lo han hecho a través de programas de mejoramiento genético bien definidos y a largo plazo en la selección de animales. De la literatura se desprende que parte de la varianza fenotípica de características de crecimiento y de vellón es heredable (Safari *et al.*, 2005), por tanto, estas características podrían ser mejoradas a través de programas de mejoramiento genético vía selección (Ghafouri *et al.*, 2009). Este trabajo, por consiguiente, contribuye con el propósito de establecer programas de selección basados en información individual para ovinos de razas de carne y doble propósito.

HIPÓTESIS

Al utilizar un índice de selección con restricciones o cuando se hace selección sobre la base de una sola característica se obtienen pérdidas inferiores a un veinte por ciento en relación a la ganancia genética lograda usando un índice sin restricciones, con excepción del diámetro de fibra.

OBJETIVOS

General:

Evaluar el progreso posible de obtener al seleccionar por varias características de interés económico en forma simultánea en ovinos doble propósito y de carne en la zona central de Chile

Específicos:

- a) Obtener el valor de los parámetros genéticos y fenotípicos necesarios para la construcción de los índices de selección.
- b) Estimar las ponderaciones económicas relativas correspondientes a cada una de las características incorporadas en el índice de selección.
- c) Calcular la pérdida en la eficiencia genético-económica que se obtendría con la utilización de índices con restricciones o mediante la selección por una sola característica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se construyeron diferentes índices de selección masal, esto es, índices basados en información individual en ovinos Merino Precoz y Suffolk Down con registros productivos 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.

Se simuló el cambio en la ganancia genético-económica que se obtendría con distintos valores de índices de herencia para TC (0,08-0,32) y distintas correlaciones genéticas entre PN y TC (-0,2 a 0,5) en la raza Suffolk, ya que son los rangos que la literatura informa para estos parámetros. En el Merino Precoz en cambio, se simuló la respuesta genético-económica esperada con distintos índices de selección. Además, se simuló el cambio en la ganancia genético-económica con diferentes precios del kilo de cordero.

6.1 Características generales del área del estudio

La Estación Experimental se encuentra a 33°31' latitud Sur, a 70°50' longitud Oeste y a una altitud de 470 metros sobre el nivel del mar (García *et al.*, 1993). Según la clasificación de Rodríguez (1959), la Estación Experimental se encuentra en el secano interior de la zona central, la que se ubica en la vertiente interna de la Cordillera de la costa, en colinas y sectores no regados del llano central. El clima del sector es de tipo mediterráneo semiárido, con un régimen térmico que se caracteriza por temperaturas que varían, en promedio, entre una máxima del mes de enero de 28,2°C y una mínima del mes de julio de 4,4°C. El período libre de heladas es de 231 días, con un promedio de 11 heladas por año. Registra anualmente 1621 grados-día (base 10°C) y 1147 horas de frío (base 7°C) (Santibáñez y Uribe, 1990). Los registros pluviométricos de la Estación Experimental reportan un monto anual promedio de 305 mm (período 1958-2011), éste se concentra en un 94,4% entre los meses de abril y septiembre¹. Si bien es cierto en promedio, el período de las precipitaciones es de 5-6 meses, la variabilidad estacional entre los años es extrema, presentándose a menudo años con períodos secos de 7 a 10 meses (Olivares *et al.*, 1998).

Los suelos del sector son de origen aluvio-coluvial de pendientes suaves, derivados de materiales graníticos, predominando la textura franco-limosa. La napa freática se ubica a más de 6 m de profundidad. La pedregosidad es escasa. El pH es cercano al neutro (6,9), la conductividad eléctrica es del orden de los 0,46 dS m⁻¹ y los contenidos de Nitrógeno y Fósforo oscilan entre 17 y 19 ppm, respectivamente (Silva *et al.*, 1987).

¹ Giorgio Castellaro, 2012. Ingeniero Agrónomo M.Sc. Académico Facultad Ciencias Agropecuarias, Universidad de Chile. Comunicación personal.

Las praderas del área son de tipo anual, predominando en el estrato herbáceo, especies terófitas de crecimiento invernal, donde dominan las poáceas de los géneros *Bromus*, *Vulpia* y *Avena*, así como también especies Geraniaceas especialmente del género *Erodium* (Castellaro *et al.*, 1994). En el estrato arbustivo domina *Acacia caven*, con diversos grados de cobertura. La productividad anual de este pastizal es variable, pero generalmente no supera los 1500 Kg ha⁻¹ de materia seca (MS), siendo en muchos sectores no superior a 500 kg (Olivares, 1996).

El sistema de explotación del rebaño es de carácter extensivo, con una parición al año y la alimentación de los animales se basa exclusivamente en la utilización del pastizal natural. En la E.E. de Rinconada se realiza un encaste tradicional, esto es, a través de monta natural a partir de mediados de enero hasta mediados de marzo. Las pariciones comienzan a mediados de junio y se prolongan hasta mediados de agosto. Los corderos son vendidos al destete, generalmente durante el mes septiembre y primeras semanas de octubre. La esquila se realiza normalmente a inicios del mes de noviembre, en dicho momento las borragas tienen aproximadamente 15 meses de vida.

6.2 Estimación de parámetros genéticos

Los registros históricos disponibles en la Estación Experimental para características asociadas al peso vivo, crecimiento y lana, de las razas Merino Precoz y Suffolk Down no permiten estimar parámetros genéticos, debido a que de acuerdo al sistema de reproducción, no es posible conocer el origen paterno de los corderos. Debido a lo anteriormente señalado, los índices de herencia y las correlaciones genéticas de las variables consideradas, se obtuvieron a partir de una revisión de literatura.

6.3 Estimación de parámetros fenotípicos

Para la obtención de los parámetros fenotípicos (varianzas y correlaciones fenotípicas), se realizó un análisis de varianza de mínimos cuadrados, según el método descrito por Harvey (1990), utilizando el programa MINITAB® 2008 (Bower, 2000). En ovinos de las razas Suffolk como Merino Precoz, tanto en hembras como en machos, este método se aplicó a las variables peso al nacimiento (PN) y tasa de crecimiento (TC), mientras que en el caso de ovinos Merino Precoz, el método fue aplicado además en las características de vellón: peso del vellón sucio (PVS), diámetro de fibra (DF) y largo de mecha (LM), todas ellas medidas solamente en hembras a la primera esquila. Con respecto a DF y LM, sus valores fueron determinados mediante análisis OFDA 2000® (Analizador Óptico del Diámetro de Fibra), en muestras de lana obtenidas de la zona media del costillar de las hembras.

El número de registros utilizados en el análisis de la información relacionada con PN y TC de ovinos Suffolk, se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Número de registros de peso al nacer (PN) y tasa de crecimiento (TC) para estimar parámetros fenotípicos en la raza Suffolk Down

Año	Hembras		Machos		Total
	Únicos	Mellizos	Únicos	Mellizos	
2008	37	10	29	8	84
2010	44	24	22	26	116
2011	34	25	53	18	130
Total	115	59	104	52	330

El número de registros utilizados en el análisis de la información relacionada con PN, TC y características de vellón de ovinos Merino Precoz, se presenta en los Cuadros 2 y 3.

Cuadro 2. Número de registros de peso al nacer (PN) y tasa de crecimiento (TC) para estimar parámetros fenotípicos en la raza Merino Precoz

Año	Hembras		Machos		Total
	Únicos	Mellizos	Únicos	Mellizos	
2008	51	35	53	21	160
2010	100	65	74	53	292
2011	96	35	92	40	263
Total	247	135	219	114	715

Cuadro 3. Número de registros de peso del vellón sucio (PVS), diámetro de fibra (DF) y largo de mecha (LM) de borregas para estimar parámetros fenotípicos en la raza Merino Precoz

Año	Peso del vellón		Diámetro de fibra		Largo de mecha	
	Únicos	Mellizos	Únicos	Mellizos	Únicos	Mellizos
2010	46	13	81	25	81	25
2011	81	53	0	0	0	0
Total	127	66	81	25	81	25

Peso al nacimiento (PN). Los efectos fijos incluidos en los modelos preliminares para PN fueron: año de nacimiento (2008; 2010-2011); edad de la oveja agrupada en cinco clases (2, 3, 4, 5 y 6 años); estación de parto (temprana y tardía)²; tipo de parto (únicos y mellizos); sexo (hembra, macho) y todas las interacciones dobles entre las variables anteriores. El modelo estadístico que define lo anterior es el siguiente:

$$Y_{ijklmn} = \mu + A_i + E_j + EP_k + T_l + S_m + (Int. dobles) + e_{ijklmn} \quad [Ec.1]$$

Tasa de crecimiento (TC). En el caso de la TC se consideran los mismos efectos fijos utilizados en el análisis de PN, pero se incluyó además la covariable edad al destete, debido a que los corderos al momento del destete tenían diferentes edades. En este caso, el modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijklmn} = \mu + A_i + E_j + EP_k + T_l + S_m + \beta_{(X_i - \bar{X})} + (Int. dobles) + e_{ijklmn} \quad [Ec.2]$$

En las ecuaciones [1] y [2], los símbolos utilizados representan las siguientes variables:

Y_{ijklmn} = representa el dato productivo (PN ó TC)

μ = promedio general

A_i = efecto del i-ésimo año (i=2008,2010 y 2011)

E_j = efecto de la j-ésima edad de la madre (j=2,3,4,5 y 6 años)

EP_k = efecto de la k-ésima estación de parto (k=temprano, tardío)

T_l = efecto del l-ésimo tipo de parto (l=único, doble)

S_m = efecto del m-ésimo sexo del cordero (m=hembra, macho)

$\beta_{(X_i - \bar{X})}$ = covariable edad al destete

(Int. dobles) = interacciones dobles entre las fuentes de variación asociadas al año, edad de la madre, estación de parto, tipo de parto y sexo.

e_{ijklmn} = error experimental

² Se definió época temprana como el período en que ocurrieron el 50% de los primeros partos.

No se consideraron corderos con un peso al nacimiento inferior a 2,5 kilos; pesos al destete inferiores a 25 kilos, como tampoco una edad al destete inferior a 60 días.

Peso del vellón sucio (PVS). En el análisis de PVS, los efectos principales considerados fueron: año (2010 y 2011), edad de la madre agrupada en tres clases (2-3, 4-5 y 6 años), tipo de parto (únicos y mellizos) y las interacciones dobles entre las variables antes mencionadas. Además se incluyó el efecto edad a la esquila como covariable. En este caso el modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + E_j + T_k + \beta_{(X_i - \bar{X})} + (Int. dobles) + e_{ijkl}$$

[Ec.3]

donde:

Y_{ijkl} = representa el dato productivo (PVS)

μ = promedio general

A_i = efecto del i-ésimo año (i= 2010 y 2011)

E_j = efecto de la j-ésima edad de la madre (j=2-3,4-5,6)

T_k = efecto de la k-ésimo tipo de parto (k= único, doble)

$\beta_{(X_i - \bar{X})}$ = efecto de la edad a la esquila utilizada como covariable

(Int. dobles) = interacciones dobles entre las fuentes de variación asociadas al año, edad de la madre y tipo de parto.

e_{ijkl} = error experimental

Diámetro de fibra (DF) y largo de mecha (LM). Para el análisis del DF y LM el modelo incluyó solamente los efectos de la edad de la madre (pero agrupada únicamente en dos categorías: 2 y 3 o más años) y el tipo de parto (únicos y mellizos). No se consideró el efecto del año ya que los registros disponibles para estas variables correspondieron únicamente al año 2010. Debido a lo anterior, en estas variables el modelo estadístico se redujo a:

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + T_j + \beta_{(X_i - \bar{X})} + (Int. dobles) + e_{ijk}$$

[Ec.4]

donde:

Y_{ijk} = representa el dato productivo (DF ó LM)

μ = promedio general

E_i = efecto de la i-ésima edad de la madre (i= 2, 3-6)

T_j = efecto de la k-ésimo tipo de parto (k= único, doble)

$\beta_{(X_i-\bar{X})}$ = efecto de la edad a la esquila utilizada como covariable

(Int. dobles) = interacciones dobles entre las fuentes de variación asociadas a edad de la madre y tipo de parto.

e_{ijk} = error experimental

El modelo final, conservó solamente los efectos que resultaron significativos ($P < 0,05$) del análisis preliminar para el análisis de características de crecimiento y vellón.

6.3.1 Estimación de las varianzas fenotípicas

Las varianzas fenotípicas (σ_p^2) se estimaron a través del cuadrado medio del error (CME) que resultó de cada uno de los análisis anteriores (Harvey, 1990). Aquellos factores que resultaron significativos, fueron sometidos a una prueba de comparación de múltiple de Tukey con una significancia del 5%.

6.3.2 Estimación de las correlaciones fenotípicas

La correlación fenotípica entre dos características ($r_{p_{XY}}$) fue estimada con los datos corregidos por todas aquellas fuentes de variación significativas para ambas características a través de la siguiente fórmula (Walsh y Lynch, 1998):

$$r_{p_{XY}} = \frac{Cov_{p_{XY}}}{\sigma_X \times \sigma_Y}$$

[Ec.5]

donde:

$r_{p_{XY}}$: Correlación fenotípica entre características X e Y

$Cov_{p_{XY}}$: Covarianza fenotípica entre características X e Y

σ_X : Desviación estándar fenotípica de característica X

σ_Y : Desviación estándar fenotípica de característica Y

Para corregir los datos, se calcularon factores de ajuste aditivos para considerar la influencia de un efecto ambiental específico. Para ello, se calculó el desvío entre el promedio mínimo cuadrado de cada efecto estadísticamente significativo, con el promedio general para una característica determinada. Para obtener el valor fenotípico corregido, se modificó el signo del desvío de cada factor ambiental pertinente con respecto a la media general de la característica, al resultado de esta operación, se adicionó al valor fenotípico expresado por cada individuo medido (adaptado de Fernández *et al.*, 2010).

$$\hat{P}_i = P_i - (\bar{X}_i - \bar{\bar{X}}_i)$$

[Ec.6]

donde:

\hat{P}_i = valor fenotípico corregido de la característica i

P_i = valor fenotípico sin corregir de la característica i

\bar{X}_i = promedio mínimo cuadrático de cada clase de la característica i

$\bar{\bar{X}}_i$ =promedio general de la característica i

6.4 Estimación de varianzas y desviaciones estándar genéticas

La varianza y desviación estándar genética, necesarias para el cálculo del índice de selección, se obtuvieron a través de la siguiente expresión (Willis, 1998):

- Varianza genética aditiva:

$$\sigma_G^2 = h^2 \cdot \sigma_P^2$$

[Ec.7]

- Desviación estándar genética aditiva:

$$\sigma_G = \sqrt{h^2 \cdot \sigma_P^2}$$

[Ec.8]

6.5 Cálculo de las ponderaciones económicas

Para la valorización de las distintas características incorporadas en el índice de selección se consideraron los siguientes supuestos:

- Precio en pie del kilogramo de cordero: Se obtuvo el precio promedio de venta de esta categoría como el precio pagado a productor en feria. Este promedio se obtuvo a partir de los registros históricos (1990-2011) correspondientes al mes de octubre, por ser el mes en el cual se concentra la venta de corderos en la zona central (ODEPA, 2011).
- No se asumió costo energético para producción del vellón en ovinos, ya que su demanda nutricional es mínima (55 MJ año^{-1}) (Nicol y Brookes, 2007).
- Para el precio del dólar estadounidense se consideró el valor promedio del año 2011.
- Se consideró que los animales son manejados en condiciones extensivas utilizando el pastizal natural mediterráneo.

Para deflactar los precios nominales, se calculó la variación porcentual del IPC de las distintas fechas de venta de lana con respecto a diciembre 2011, con la siguiente ecuación (INE, 2012):

$$V_{IPC} = \frac{IPC_{\alpha}}{IPC_{\beta}} \cdot 100 - 100$$

[Ec.9]

donde:

V_{IPC} : corresponde a la variación del IPC porcentual

IPC_{α} : IPC del mes actual (diciembre 2011)

IPC_{β} : IPC del mes anterior al mes más lejano

Para calcular los precios reales en pesos chilenos a diciembre del 2011, se utilizó la siguiente ecuación (INE, 2012):

$$VR = \frac{100 + V_{IPC} \cdot Valor}{100}$$

[Ec.10]

donde:

VR: Valor reajustado

V_{IPC} : Variación de IPC porcentual entre dos fechas determinadas

Valor: Valor a reajustar

La ponderación económica es definida como el incremento en el ingreso neto (ΔIN) por unidad de cambio del carácter (ΔX_i), manteniendo los otros rasgos constantes, (García y Gallardo, 2005). De esta forma, el cálculo del ponderador económico para cada variable, se determinó a través de la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta IN}{\Delta X_i} = \Delta X_i \cdot P_{X_i}$$

[Ec.11]

Donde ΔIN corresponde al incremento en el ingreso neto por unidad de incremento de la característica X_i (ΔX_i), mientras que P_{X_i} corresponde al precio de cada unidad de dicha característica.

6.5.1 Ponderación económica para tasa de crecimiento

Para el caso del ponderador económico de la variable tasa de crecimiento, se valorizó económicamente el costo económico que significa para el productor aumentar en una unidad la ganancia de peso (C_g). De acuerdo Nicol y Brookes (2007), el aumento de un kilo de peso vivo al destete demanda por parte del par oveja-cordero un aumento en los requerimientos de energía metabolizable de 58 MJ, en el rango entre 30 y 35 kilos. Considerando que el pastizal natural, en el período en que normalmente se lleva a cabo la lactancia, tiene una concentración energética del orden de los 9,5 MJ kg⁻¹ (Ovalle y Squella, 1996), la cifra anterior equivale a un consumo extra de 6,1 kg de MS. Por otra parte, el kilo de MS tiene un costo monetario asociado, el cual se determinó con la siguiente ecuación (Daza, 1997):

$$C_g = \frac{E + M \cdot (n - 1)}{n \cdot P}$$

[Ec.12]

donde:

C_g = costo Kg de materia seca

E = costo de establecimiento de la pradera. No se asumió costo de establecimiento por tratarse de un pastizal natural

M = costo de mantención

n = número de años de la pradera (20 años)

P = producción promedio de kg de materia seca de pradera

La estimación del costo anual de mantención de la pradera natural se estableció como el costo de mantención del 10% de los cercos en un año y el arreglo de los espinos del predio, para el mismo período. Para ello se obtuvo los metros del perímetro lineal del campo que se debe arreglar cada año. Se asumió que la superficie del campo es un cuadrado con dos subdivisiones internas, lo que corresponde a un campo ovejero promedio de la zona centro y centro-sur del país³.

Una vez que se calculó el valor neto de cada gramo, la ponderación económica de la variable TC se obtuvo como el producto del valor neto de cada gramo y la edad promedio al destete para cada raza.

6.5.2 Ponderación económica para peso al nacimiento

Su importancia económica se obtuvo a través de la correlación fenotípica ($r_{P_{PN-PD}}$) positiva que entre PN y PD. La correlación fenotípica se transformó en regresión fenotípica (b_{PD-PN}) a través de la siguiente expresión (Walsh y Lynch, 1998):

$$b_{PD-PN} = r_{P_{PN-PD}} \cdot \frac{\sigma_{PD}}{\sigma_{PN}}$$

[Ec.13]

Donde σ_{PN} y σ_{PD} corresponden a las desviaciones estándar de PN y PD, respectivamente. Con esta información se pudo estimar las unidades de cambio en el peso al destete por cada unidad de aumento en el peso al nacer.

6.5.3 Ponderación económica de las características del vellón

Peso del vellón sucio. Se calculó un promedio simple de PVS con los registros correspondiente a las ventas de lana efectuadas por la Estación Experimental Rinconada de Maipú durante el período 2008-2011, con valores de precios reales al mes de diciembre 2011.

³ Giorgio Castellaro, 2012. Ingeniero Agrónomo Mg.Sc. Académico Facultad Ciencias Agropecuarias, Universidad de Chile. Comunicación personal.

Largo de mecha. Para LM la ponderación económica se determinó a partir de la información entregada por las empresas comercializadoras de lana que operan en la zona central del país, complementado lo anterior con referencias de la empresa Woolmark Company ®.

Diámetro de fibra. La ponderación económica de DF, se calculó a partir de la regresión existente entre diámetro de fibra y el precio del vellón sucio, utilizando los registros históricos del Servicio Nacional de Evaluación Genética de Reproductores Ovinos y PROLANA, Argentina. Esta información está disponible en dólares americanos, por esta razón, el incremento neto marginal de esta variable (ΔIN_{DF}) se obtuvo como el producto de esta regresión y el valor promedio del dólar para el año 2011.

6.5.4 Ponderación económica relativa y estandarizada

El incremento neto marginal que se calculó para cada variable (ΔIN_i), fue relativizado y expresado en porcentaje. La ponderación económica relativa (ar_i) se obtuvo de acuerdo a la siguiente fórmula adaptada de Van Raden (2002):

$$ar_i = \frac{100 \cdot \Delta IN_i}{\sum_i \Delta IN_i}$$

[Ec.14]

La ponderación económica calculada mediante la ecuación 11 no entrega una indicación del orden de importancia de cada característica ya que estos están expresados en distintas unidades de medida. Para una mejor comparación, la importancia económica de las diferentes características se estandarizó de acuerdo al procedimiento descrito por Wolfová *et al.* (2009, 2011) en ovinos. La ponderación económica estandarizada (as_i) se calculó como el producto del incremento marginal ΔIN_i y la desviación estándar genética de cada característica (σ_{Gi}) [Ec.8].

6.6 Índices de selección

Se construyeron índices de selección que consideraron las siguientes características: peso del vellón sucio (PVS), diámetro de fibra (DF), largo de mecha (LM), peso al nacer (PN) y tasa de crecimiento diaria de peso pre-destete (TC) en ovinos Merino Precoz, y PN y TC en ovinos Suffolk Down.

6.6.1 Índice de selección sin restricciones

El desarrollo de este trabajo consistió en calcular un índice de selección sin restricciones utilizando información individual para las características de interés en ovinos Merino

Precoz y Suffolk de acuerdo al método propuesto por Hazel (1943). Según Falconer y Mackay (1996) y Willis (1998) este índice es el mejor predictor del valor de cría agregado de un animal y toma la forma de una regresión lineal múltiple, en donde el valor de cada característica (X_i) en los animales se pondera por un coeficiente dado (b_i) que permite maximizar el beneficio genético-económico de acuerdo a la siguiente expresión:

$$I_S = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_nX_n$$

[Ec.15]

donde:

I_S = índice de selección

b_i = corresponde a los coeficientes de regresión

X_i = corresponde a los valores fenotípicos de cada característica ajustados por los efectos no genéticos importantes.

Para la estimación de los valores de \mathbf{b} , se utilizó la siguiente igualdad (Falconer y Mackay, 1996):

$$G \cdot a = P \cdot b$$

[Ec.16]

Donde \mathbf{G} es la matriz varianzas-covarianzas genética, cuya dimensión depende del número de características consideradas; \mathbf{a} es el vector referido a las ponderaciones económicas relativas de cada característica; \mathbf{P} es la matriz de varianzas-covarianzas fenotípicas y \mathbf{b} es el vector de las ponderaciones para cada característica incluida en el índice, este último por tanto es igual a la siguiente expresión (Falconer y Mackay, 1996):

$$b = P^{-1} \cdot G \cdot a$$

[Ec.17]

Las covarianzas fenotípicas ($Cov_{P_{XY}}$) se obtuvieron multiplicando la correlación fenotípica ($r_{P_{XY}}$) por las desviaciones estándar de los caracteres X e Y (Walsh y Lynch, 1998):

$$Cov_{P_{XY}} = r_{P_{XY}} \cdot \sigma_X \cdot \sigma_Y$$

[Ec.18]

Las covarianzas genéticas se obtuvieron a través de la siguiente expresión:

$$Cov_{G_{XY}} = r_{G_{XY}} \cdot \sqrt{h_X^2 \cdot \sigma_{P_X}^2} \cdot \sqrt{h_Y^2 \cdot \sigma_{P_Y}^2}$$

[Ec.19]

donde:

$Cov_{G_{XY}}$: covarianza genética entre las variables X e Y

$r_{G_{XY}}$: correlación genética entre las variables X e Y.

$\sqrt{h_X^2 \cdot \sigma_{P_X}^2}$: desviación estándar genética aditiva de la variable X [Ec. 8].

$\sqrt{h_Y^2 \cdot \sigma_{P_Y}^2}$: desviación estándar genética aditiva de la variable Y [Ec. 8]

Para obtener la estimación del cambio genético-económico al seleccionar sobre una desviación estándar ($i=1$), se calculó previamente la varianza del índice, la cual se obtuvo a través de la siguiente expresión:

$$\sigma_I^2 = \mathbf{b}' \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{b}$$

[Ec.20]

Donde \mathbf{b} es la matriz columna de las incógnitas b_1, b_2, \dots, b_n ; \mathbf{b}' es la matriz columna \mathbf{b} traspuesta y \mathbf{P} la matriz de varianzas-covarianzas fenotípicas. Conocida la varianza del índice se obtuvo la desviación estándar de este.

Se calculó el cambio estimado en cada una de las características consideradas en el índice (ΔX_i) según la siguiente expresión (Hogsett y Nordskog, 1958):

$$\Delta X_i = \frac{b_1 \cdot g_{i1} + b_2 \cdot g_{i2} + \dots + b_n \cdot g_{in}}{\sigma_I}$$

[Ec.21]

Los valores $g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{in}$ son los elementos correspondientes al carácter i de la matriz varianzas-covarianzas genética \mathbf{G} .

Se determinó la eficiencia económica al utilizar el índice de selección después de una generación con una intensidad de selección igual a 1, con la siguiente expresión:

$$\Delta H (I_S) = a_1 \Delta X_1 + a_2 \Delta X_2 + \dots a_n \Delta X_n$$

[Ec.22]

donde:

ΔH es la ganancia económica después de una generación de selección al utilizar el índice de selección y que considera la sumatoria del cambio genético logrado en cada una de las características incorporadas en el índice multiplicadas por la ponderación económica dada a cada una de las variables (Mueller, 1985; Conington *et al.*, 2001).

Se calculó además la correlación entre el índice y el valor genético agregado (r_{IH}). Este parámetro mide la exactitud con que el índice estima el valor genético económico (Conington *et al.*, 2001).

$$r_{IH} = \sqrt{\frac{\mathbf{b}'\mathbf{P}\mathbf{b}}{\mathbf{a}'\mathbf{C}\mathbf{a}}}$$

[Ec.23]

Donde: \mathbf{b} es la matriz columna de las incógnitas b_1, b_2, \dots, b_n ; \mathbf{b}' es la matriz columna \mathbf{b} traspuesta, \mathbf{P} la matriz de varianzas-covarianzas fenotípicas, \mathbf{a} es la matriz columna de ponderadores económico a_1, a_2, \dots, a_n ; \mathbf{a}' es la matriz columna \mathbf{a} traspuesta y \mathbf{C} es la matriz de varianzas-covarianzas genéticas para todas las variables que conformen el objetivo de selección. En este trabajo la matriz \mathbf{C} y \mathbf{G} son idénticas.

6.3.2 Selección a favor de una característica

Se calculó la respuesta directa a la selección (R_X) en una generación para cada característica sobre la base de la selección de una sola característica considerando una unidad de intensidad de selección ($i=1$). Para este cálculo se utilizó la siguiente fórmula (Falconer y Mackay, 1996):

$$R_X = i \cdot \sigma_{P_X} \cdot h_X^2$$

[Ec.24]

donde:

R_X : Respuesta a la selección para la característica X

i : intensidad a la selección

σ_{P_X} : desviación estándar fenotípica de la característica X

h_X^2 : índice de herencia de la característica X

Debido a que se simuló la selección en favor de una sola característica los cambios esperados en otras variables como consecuencia de la respuesta correlacionada, se obtuvieron a través de la siguiente expresión, la cual puede utilizarse para cualquier característica (Falconer y Mackay, 1996):

$$RC_Y = i_x \cdot r_{G_{XY}} \cdot h_X \cdot h_Y \cdot \sigma_{P_Y}$$

[Ec.25]

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 de la heredabilidad de la variable X
- h_Y : raíz de la heredabilidad de la variable Y
- σ_{P_Y} : desviación estándar fenotípica de la variable Y

6.6.3 Índice de selección con restricciones

En este trabajo se simuló la ganancia genética económica cuando se utiliza un índice de selección restringiendo a cero el cambio en una o varias características. Para ello se utilizó la siguiente metodología descrita por Kempthorne y Nordskog (1959):

$$b = [I^* - P^{-1} \cdot G^{*'} \cdot (G^* \cdot P^{-1} \cdot G^{*'})^{-1} \cdot G^{*'}] \cdot P^{-1} \cdot G \cdot a$$

[Ec.26]

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.

G^* : G^* traspuesta

6.6.4 Eficiencia relativa

Dado que con un índice de selección sin restricciones se obtiene el mejoramiento genético que aporta el mayor beneficio económico, cualquier otro criterio de selección necesariamente es menos eficiente (Willis, 1998). En función de lo anterior la eficiencia relativa de cualquier otro criterio de selección se obtuvo a través de la siguiente relación:

$$Eficiencia\ relativa = \frac{\Delta H(I_I)}{\Delta H(I_S)} \cdot 100$$

[Ec.27]

donde:

$\Delta H(I_I)$: corresponde a la ganancia genético-económica que se obtiene con un índice de selección con restricciones o a favor de una sola característica

$\Delta H(I_S)$: corresponde a la ganancia genético-económica que se obtiene con el índice de selección sin restricciones

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Parámetros genéticos en ovinos Merino Precoz y Suffolk Down

Como se señaló en materiales y métodos los parámetros genéticos fueron obtenidos de una revisión de literatura. La información que se entrega a continuación resume por consiguiente la información bibliográfica.

7.1.1 Índice de herencia

7.1.1.1 Características del vellón

Varios autores han publicado índices de herencia para características del vellón en ovinos doble propósito a distintas edades. Esta información se resume en el Cuadro 4. De acuerdo a estos autores, los índices de herencia son altos ($h^2 > 0,35$) para características del vellón en distintas razas doble propósito. Además, en un trabajo de revisión de literatura de Safari *et al.* (2005) se señalan similares índices de herencia para PVS, DF y LM en razas especializadas en producción de lana y doble propósito.

Según los autores anteriormente señalados, para ovinos doble propósito el índice de herencia para PVS a diferentes edades se encuentra entre 0,17 y 0,68, siendo el valor más alto el reportado por Hanford *et al.* (2006) en ovinos Polypay a los 12 meses de vida (Cuadro 4). En la revisión de literatura realizada por Safari *et al.* (2005) los autores publican un valor promedio del índice de herencia para peso del vellón sucio de $0,38 \pm 0,03$ producto de 22 estimaciones en ovinos doble propósito.

Las estimaciones realizadas para diámetro de fibra en ovinos doble propósito, muestran que el valor de la heredabilidad de esta característica se encuentra entre 0,5 y 0,72. De acuerdo a Safari *et al.* (2005), el índice de herencia promedio para razas doble propósito es $0,57 \pm 0,05$ producto de ocho estimaciones.

Por otra parte, la característica largo de mecha en razas de doble aptitud, tiene una heredabilidad promedio según Safari *et al.* (2005) de $0,48 \pm 0,03$ producto de 6 estimaciones. El menor índice de herencia publicado para esta característica fue reportado por Naido y Cloete (2006) ($h^2: 0,28 \pm 0,06$) en Mutton Merino, mientras que el valor más alto lo obtienen Hanford *et al.* (2002) en ovinos Columbia ($h^2: 0,55 \pm 0,02$).

Cuadro 4. Índices de herencia informado en la literatura para peso de vellón sucio, diámetro de fibra y largo de mecha en ovinos doble propósito

Característica	Raza	Edad	$h^2 \pm E.E.$	Fuente
Peso del vellón sucio	Columbia	Adulto	0,52	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Columbia	Adulto	0,53±0,02	Hanford <i>et al.</i> (2002)
	Polypay	Adulto	0,55	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Polypay	12 meses	0,68±0,03	Hanford <i>et al.</i> (2006)
	Polypay	12 meses	0,44	Rao y Notter (2000)
	Rambouillet	Adulto	0,52	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Rambouillet	12 meses	0,08±0,04	Hanford <i>et al.</i> (2005)
	Rambouillet	12 meses	0,42	Lee <i>et al.</i> (2000)
	Targhee	Adulto	0,52	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Targhee	12 meses	0,41	Notter y Hough (1997)
	Targhee	12 meses	0,51	Rao y Notter (2000)
	Targhee	Adulto	0,57±0,02	Van Vleck <i>et al.</i> (2003)
	Doble propósito		0,36	Safari <i>et al.</i> (2006)
	Diámetro de fibra	Dohne Merino	12 meses	0,45±0,01
Dohne Merino		12 meses	0,48±0,01	Van Wyk <i>et al.</i> (2006)
SA Merino		18 meses	0,53±0,04	Cloete <i>et al.</i> (2005)
SA Merino		18 meses	0,72±0,02	Naidoo y Cloete (2006)
Targhee		12 meses	0,62	Notter <i>et al.</i> (2007)
Targhee		12 meses	0,58	Notter y Hough (1997)
Targhee		12 meses	0,5	Rao y Notter, (2000)
Doble propósito			0,59	Safari <i>et al.</i> (2006)
Largo de mecha	Columbia	Adulto	0,47	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Columbia	12 meses	0,55±0,02	Hanford <i>et al.</i> (2002)
	Polypay	Adulto	0,54	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Rambouillet	Adulto	0,53	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	SA Merino	18 meses	0,28±0,06	Naidoo y Cloete (2006)
	Targhee	Adulto	0,53	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Targhee	12 meses	0,43	Notter <i>et al.</i> (2007)

7.1.1.2 Peso al nacimiento y tasa de crecimiento

Para las características peso al nacimiento y tasa de ganancia de peso pre-destete, los valores publicados, como se observa en el Cuadro 5, no presentaron diferencias entre razas de carne, y doble propósito (Safari *et al.*, 2005). A diferencia de las características de vellón, las relacionadas con peso y crecimiento presentan moderados índices de herencia (Safari *et al.*, 2005). El rango de los h^2 para PN oscila entre 0,1 y 0,34 siendo el valor promedio 0,19±0,02 y 0,15±0,02 en ovinos doble propósito y de carne, respectivamente.

Cuadro 5. Índices de herencia informado en la literatura para peso al nacer y tasa de crecimiento pre-destete en ovinos doble propósito y de carne

Característica	Raza	$h^2 \pm E.E.$	Fuente
Peso al nacimiento	Columbia (DP)	0,18	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Columbia (DP)	0,27 \pm 0,02	Hanford <i>et al.</i> (2002)
	Polypay (DP)	0,16	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Rambouillet (DP)	0,19	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	SA Merino (DP)	0,11 \pm 0,06	Cloete <i>et al.</i> (2002)
	Dorper (C)	0,11 \pm 0,04	Neser <i>et al.</i> (2001)
	Dormer (C)	0,21 \pm 0,07	Cloete <i>et al.</i> (2002)
	Targhee (DP)	0,22	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Targhee (DP)	0,24 \pm 0,01	Van Vleck <i>et al.</i> (2003)
	Suffolk (C)	0,10 \pm 0,07	Thrift <i>et al.</i> (1973)
	Suffolk (C)	0,17 \pm 0,06	Maniatis y Pollot (2002)
	Suffolk (C)	0,05 \pm 0,02	Simm <i>et al.</i> (2002)
	Suffolk (C)	0,34 \pm 0,06	Janssens y Vandepitte (2004)
	Tasa de crecimiento	Columbia (DP)	0,07
Polypay (DP)		0,20	Bromley <i>et al.</i> (2000)
Rambouillet (DP)		0,11	Bromley <i>et al.</i> (2000)
Targhee (DP)		0,16	Bromley <i>et al.</i> (2000)
Suffolk (C)		0,17	Rao y Notter (2000)
Merino Español (L)		0,03 \pm 0,02	Jurado <i>et al.</i> (1994)

(L): razas de lana; (DP): raza doble propósito; (C): razas de carne.

7.1.2 Correlaciones genéticas (r_G)

7.1.2.1 Características del vellón

Las correlaciones genéticas entre características importantes del vellón en razas doble propósito y especializadas en producción de lana se presentan en el Cuadro 6.

De acuerdo a la revisión de literatura publicada por Safari *et al.* (2005), se encuentran correlaciones medias y positivas entre características del vellón. Según estos autores, la r_G entre PVS y DF oscila entre 0,07 y 0,59, siendo su valor promedio 0,36 producto de 18 estimaciones. La r_G entre PVS con LM es 0,44 con un rango de 0,0-0,74 producto de 11 estimaciones. Por último, la correlación genética entre DF y LM es la más baja. Su valor promedio es de 0,19 y el rango fue -0,11 y 0,45.

Cuadro 6. Correlaciones genéticas informadas en la literatura entre peso de vellón sucio (PVS), diámetro de fibra (DF) y largo de mecha (LM)

Características	Raza	Edad	$r_G \pm E.E.$	Fuente
PVS –DF	Targhee (DP)	12 meses	0,51	Notter y Hough (1997)
	SA Merino (DP)		0,27±0,06	Cloete <i>et al.</i> (2006)
	Merino (L)		0,27±0,02	Safari <i>et al.</i> (2007)
PVS-LM	Merino (L)		0,21±0,16	Mortimer y Atkins (1989)
	-		0,31	Swan <i>et al.</i> (1995)
	Menz		0,65±0,03	Gizaw <i>et al.</i> (2006)
	Columbia (DP)	Adulto	0,70	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Polypay (DP)	Adulto	0,53	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Rambouillet (DP)	Adulto	0,56	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Targhee (DP)	Adulto	0,50	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Columbia (DP)	Adulto	0,55	Hanford <i>et al.</i> (2002)
	Rambouillet (DP)		0,45	Hanford <i>et al.</i> (2005)
	Targhee (DP)		0,54	Hanford <i>et al.</i> (2006)
DF-LM	Merino (L)		0,16±0,14	Mortimer y Atkins (1989)
	Merino (L)		0,16	Swan <i>et al.</i> (1995)
	Merino (L)		0,34±0,03	Cloete <i>et al.</i> (1998b)
	SA Merino (DP)		0,24	Naido y Cloete (2006)
	Merino (L)		0,16	Olivier y Cloete (2007)
	Merino (L)		0,05±0,44	Greeff <i>et al.</i> (1995)

(L): razas laneras; (DP): razas doble propósito.

7.1.2.2 Peso al nacimiento y tasa de crecimiento

En la información presentada en el Cuadro 7 los autores utilizan como características de interés peso a una edad determinada tanto en las razas de carne como doble propósito. En la revisión de literatura de Safari *et al.* (2005) los autores informan una correlación positiva y baja entre tasa de crecimiento y peso al nacimiento sin distinción de productiva de las razas. El rango de r_G entre estas dos características, oscila entre -0,23 y 0,65 producto de seis estimaciones, con un valor promedio de 0,27 (Cuadro 7).

Cuadro 7. Correlaciones genéticas entre peso al nacimiento (PN) y tasa de crecimiento pre-destete (TC) en razas ovinas de carne y doble propósito

Raza	r_G E.E.	Fuente
Columbia (DP)	0,22	Bromley <i>et al.</i> (2000)
Polypay (DP)	0,04	Bromley <i>et al.</i> (2000)
Rambouillet (DP)	0,44	Bromley <i>et al.</i> (2000)
Targhee (DP)	0,21	Bromley <i>et al.</i> (2000)
Merino Español (L)	0,08	Jurado <i>et al.</i> (1994)
Suffolk (C)	0,4±0,49	Thrift <i>et al.</i> (1973)
Compuesto (C)	-0,02	Mousa <i>et al.</i> (1999)

(L): razas de lana; (DP): razas doble propósito; (C): razas de carne.

7.1.2.3 Características de crecimiento con características del vellón

Se han realizados pocos trabajos en ovinos doble propósito en los cuales se hayan estimado correlaciones genéticas entre peso vivo con características del vellón. La información disponible se resume en el Cuadro 8. La mayoría de los trabajos publicados corresponden a razas especializadas en producción de lana. Safari *et al.* (2005), entregan valores promedio de correlaciones genéticas entre PVS, DF y LM con PN y TC, sin distinción de razas. De acuerdo a estos autores, las correlaciones genéticas son positivas, aunque bajas.

El valor promedio y el rango en el cual fluctúan las r_G , en la revisión de literatura de Safari *et al.* (2005) son: entre PVS con PN y TC, 0,21 (0,16-0,26) y 0,24 (-0,04 a 0,48), respectivamente producto de cuatro y doce estimaciones, en el mismo orden. Según los mismos investigadores, las r_G entre DF con PN y TC es 0,18 (-0,16 a 0,48) y 0,05 (-0,28 a 0,36), producto de dos y nueve estimaciones, respectivamente. Por último, la r_G entre LM con PN es publicada sólo en un trabajo para la raza Columbia (Hanford *et al.*, 2002); mientras que la r_G entre LM y TC ha fluctuado entre -0,11 y 0,42, siendo su valor promedio 0,17 producto de siete estimaciones.

Cuadro 8. Correlaciones genéticas informadas en la literatura entre producción de lana con peso al nacer (PN) y tasa de crecimiento (TC)

Característica	Raza	r_G E.E.	Fuente
PVS-PN	Columbia (DP)	0,21	Hanford <i>et al.</i> (2002)
	Columbia (DP)	-0,17	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Polypay (DP)	0,11	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Rambouillet (DP)	0,18	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Targhee (DP)	0,23	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Targhee (DP)	0,24	Hanford <i>et al.</i> (2003)
	Rambouillet (DP)	0,21	Hanford <i>et al.</i> (2004)
PVS-TC	Columbia (DP)	0,22	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Polypay (DP)	0,04	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Rambouillet (DP)	0,44	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Targhee (DP)	0,21	Bromley <i>et al.</i> (2000)
DF-PN	Merino (L)	0,06±0,17	Lewer <i>et al.</i> (1994)
	Merino (L)	0,29±0,21	Lewer <i>et al.</i> (1994)
LM-PN	Columbia (DP)	0,05	Hanford <i>et al.</i> (2002)
LM-TC	Columbia (DP)	0,21	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Polypay (DP)	0,27	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Rambouillet (DP)	0,36	Bromley <i>et al.</i> (2000)
	Targhee (DP)	0,19	Bromley <i>et al.</i> (2000)

(L): razas de lana; (DP): razas doble propósito.

En el presente trabajo se utilizaron los parámetros genéticos promedio entregados en la revisión de literatura de Safari *et al.* (2005), los cuales se señalan en el Cuadro 9. Se prefirió usar estos parámetros debido a las siguientes razones: 1- Los trabajos recopilados por los autores se habían realizado próximo a la fecha de publicación. 2- Todos usaron REML (Restricted Maximum Likelihood), para estimar parámetros genéticos, por lo tanto la estimación de la varianza aditiva es más precisa. 3- En esta revisión de literatura, sólo se incluyeron trabajos con al menos 20 machos, lo que permitió tener un número adecuado de familias para la estimación de los parámetros genéticos. (Falconer y Mackay, 1996). 4- A pesar que los valores publicados para razas doble propósito y de carne incorporaron razas que están en ambientes diferentes a las Merino y Suffolk en el territorio nacional, los valores promedio reportados se encuentran dentro del rango para estas razas.

Cuadro 9. Índice de herencia y correlaciones genéticas de peso de vellón sucio (PVS), diámetro de fibra (DF), largo de mecha (LM), peso al nacimiento (PN) y tasa de crecimiento (TC) para ovinos doble propósito y de carne

Variab les	PVS	DF	LM	PN	TC
PVS	0,38				
DF	0,36	0,57			
LM	0,44	0,19	0,48		
PN	0,21	0,18	0,05	0,19 (0,15)*	
TC	0,24	0,05	0,17	0,27	0,17

Los índices de herencia se señalan en la diagonal y las correlaciones genéticas bajo la diagonal.

* Indica el valor del índice de herencia para razas especializadas en producción de carne

7.2 Parámetros fenotípicos

Las fuentes de información que se informan en los análisis de varianza considera sólo los efectos que resultaron estadísticamente importantes ($P < 0,05$). Los resultados para PN y TC se muestran en los Cuadros 10 y 12 para ambas razas; mientras que en el Cuadro 16 se presenta para características de vellón en el Merino Precoz.

7.2.1 Peso al nacer

7.2.1.1 Coeficiente de variación

Se registraron similares coeficientes de variación para PN en ambas razas, con valores de 17,3 y 16,8%, para el Suffolk y Merino Precoz, respectivamente. Los resultados son similares a los informados por Fogarty (1995) en razas de carne y doble propósito (17%). Safari *et al.* (2005) en cambio, informan una mayor variación en las razas de carne ($19,2 \pm 1,0\%$) en comparación a las de doble aptitud ($16,5 \pm 0,6\%$).

Cuadro 10. Análisis de varianza para peso al nacer en corderos Suffolk y Merino Precoz.

Fuente de variación	Raza del cordero					
	Suffolk Down			Merino Precoz		
	GL	CM	Valor P	GL	CM	Valor P
Año	2	14,5	0,000	2	21,9	0,000
Edad de la madre	4	2,7	0,008	4	1,20	0,055
Tipo de parto	1	68,1	0,000	1	110,9	0,000
Sexo	1	5,7	0,003	1	4,3	0,004
Estación de parto	-	-	N.S.	1	2,01	0,049
Error	321	0,58		705	0,52	
Total	329			714		

GL: grados de libertad. CM: cuadrado medio. Valor P: valor de probabilidad al 5%

7.2.1.2 Efectos no genéticos

A pesar de que escapa a los propósitos de la presente tesis analizar detalladamente el efecto de las principales fuentes de variación, en el Cuadro 11 se señalan las fuentes de variación significativas y los promedio mínimo cuadrado, los cuales se discuten a continuación.

Cuadro 11. Promedios mínimo cuadrado (promedio \pm desviación estándar) de los efectos no genéticos importantes para peso al nacer en ovinos Suffolk y Merino Precoz

Fuente de Variación	Razas	
	Suffolk Down	Merino Precoz
μ	4,42	4,29
Año		
2008	4,43 \pm 0,09 ^a	4,44 \pm 0,059 ^a
2010	4,77 \pm 0,07 ^b	4,50 \pm 0,04 ^a
2011	4,06 \pm 0,07 ^c	3,95 \pm 0,05 ^b
Edad de la madre (años)		
2	4,24 \pm 0,09 ^a	4,16 \pm 0,06 ^a
3	4,27 \pm 0,09 ^a	4,27 \pm 0,06 ^a
4	4,63 \pm 0,09 ^b	4,35 \pm 0,06 ^a
5	4,29 \pm 0,10 ^a	4,40 \pm 0,06 ^a
6	4,67 \pm 0,12 ^b	4,30 \pm 0,07 ^a
Tipo de parto		
Únicos	4,91 \pm 0,05 ^a	4,72 \pm 0,04 ^a
Mellizos	3,93 \pm 0,08 ^b	3,87 \pm 0,05 ^b
Sexo		
Hembras	4,29 \pm 0,06 ^a	4,22 \pm 0,04 ^a
Machos	4,55 \pm 0,07 ^b	4,37 \pm 0,04 ^b
Estación de parto		
Temprana	N.S.	4,24 \pm 0,04 ^a
Tardía	N.S.	4,35 \pm 0,05 ^b

Letras distintas en misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Los efectos de año, tipo de parto y sexo fueron significativos en los corderos de ambas razas. El efecto de la edad de la madre sólo fue importante en el Suffolk. En el Merino Precoz, la edad de la madre fue significativa al 10%. Se consideró este efecto como una fuente de variación también importante en el Merino Precoz, ya que el nivel de significancia resultó muy próximo al 5% ($P = 0,055$). Además, para esta última raza también fue importante el efecto estación de parto. Por otra parte, las interacciones no resultaron importante en ambas razas ($P > 0,05$).

Año. Como se observa en el Cuadro 11 el efecto año fue importante tanto en los corderos Suffolk como Merino. La variación observada en los años se debe principalmente a variaciones en la cantidad y calidad de pasto disponible para las ovejas, sobre todo durante el último tercio de gestación (Beneh y Hafezian, 2009; García *et al.*, 1980). Es interesante

destacar que ambos biotipos tuvieron los mayores y menores pesos en los mismos años, sin embargo, el efecto fue más importante en el Suffolk. En ambas razas el mejor año fue 2010. En el Suffolk, la diferencia porcentual respecto a 2008 y 2011 fue de 7,7 y 17,5%, respectivamente. En el Merino Precoz en cambio, similares comparaciones fueron de sólo 1,4 y 13,9%, respectivamente. Expresado en kilos, en el mismo orden esto correspondió a 0,34 y 0,71 kg en el Suffolk; y a 0,06 y 0,55 kg en el Merino Precoz.

Edad de la madre. El efecto edad de la madre se analizó como número del parto de la oveja (Cuadro 11). Su efecto fue especialmente importante en el Suffolk, dado que en el Merino sólo fue significativo al 5,5%. En la raza Suffolk los corderos hijos de vientres de 4 y 6 años pesaron al nacer más que los hijos de hembras de 1, 2 y 5 años, lo que equivale a una diferencia de 380 g. En el Merino Precoz en cambio, el mayor peso al nacer se obtuvo con corderos hijos de hembras de cinco partos a pesar de que estas no difirieron significativamente respecto a las restantes edades. En el Merino, los animales provenientes de hembras adultas de 4, 5 y 6 años pesaron en promedio 4,6% más que los provenientes de ovejas de dos años y 1,9% más respecto a las de tres años.

Para ambas razas la literatura señala diferencias importantes a partir de los cuatro años respecto a las hembras más jóvenes. En ovinos Merino, esto es señalado por Vosloo (1967), Heydenrych (1975) y Van der Merwe (1976). El efecto de la edad de la madre sobre PN en ovinos Suffolk también fue estudiado por García *et al.* (1980) en condiciones de secano, pero de mayor pluviometría en Chile (Cauquenes). En este último estudio, los corderos hijos de hembras de tercer y cuarto parto tuvieron mayor peso al nacimiento que los hijos de hembras de menor o mayor edad. Este fenómeno se debe a que las hembras durante su primera gestación todavía se encuentran en desarrollo, por tanto los nutrientes consumidos deben cubrir no sólo los requerimientos de la gestación y mantención, sino que además el de crecimiento (Rumph y Van Vleck, 2004). La disminución observada en las ovejas de avanzada edad observada en el Merino, se explica por el desgaste de las piezas dentarias que impide aprovechar los nutrientes apropiadamente (Akhtar *et al.*, 2001).

Estación de parto. El efecto de la estación de parto fue importante solamente en los corderos Merino Precoz ($P=0,049$). La diferencia entre el Suffolk y el Merino Precoz en relación a este efecto, probablemente se explique por una mayor estacionalidad del ciclo reproductivo del Suffolk, razón por la cual, como se observa en la Figura 1, en esta raza una mayor frecuencia de partos ocurrieron cerca de la fecha de cambio de estación de parto (7 de julio). En el Merino hubo una mayor frecuencia de partos tempranos, época en la cual la pradera era de inferior calidad que en la estación tardía debido a la distribución pluviométrica.

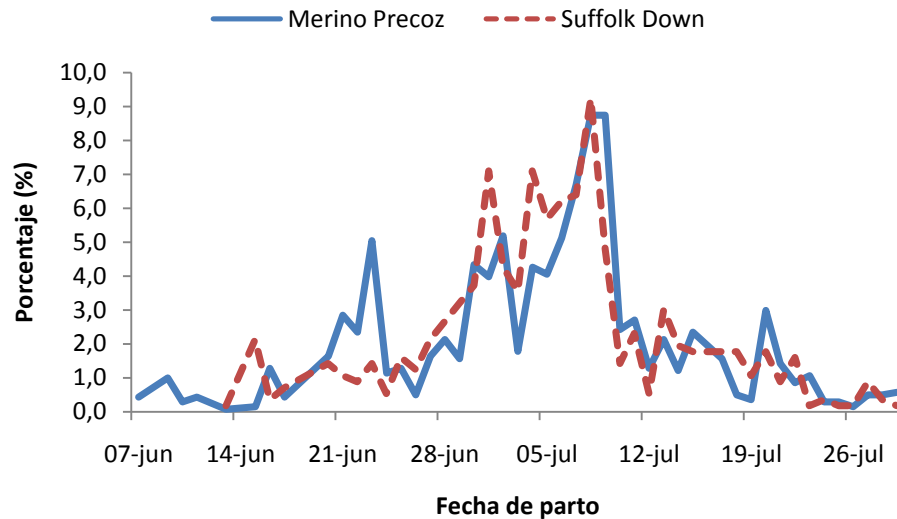


Figura 1. Distribución de partos en Merino Precoz y Suffolk Down

Tipo de parto. En ambas razas el tipo de parto fue importante ($P < 0,05$). La diferencia entre únicos y mellizos en el Suffolk y Merino Precoz fue 24,9 y 22,0%, respectivamente, esto corresponde a aproximadamente 980 g en el Suffolk y 850 g en el Merino. Diferencias similares, de alrededor de un kilogramo son informadas por García *et al.* (1980), Smith (1977), Rastogi (1975), Sidwell y Miller (1971) en ovinos Suffolk y por Zihiri (2009), Fourie y Heydenrych (1981) en ovinos Merino y por Shrestha y Vesely (1986) en razas doble propósito Rambouillet y Columbia.

Sexo. El efecto sexo del cordero también fue importante ($P < 0,05$) en ambas razas. El efecto fue, sin embargo, menor al analizado para tipo de parto, dado que los machos fueron más pesados que las hembras sólo en un 6,1 y 3,6% en el Suffolk y Merino, respectivamente. La diferencia anteriormente señalada significa 260 y 150 g para Suffolk y Merino en el mismo orden. Este efecto concuerda con lo informado por García *et al.* (1980) en la raza Suffolk. Los autores señalan una diferencia de 300 g entre machos y hembras en condiciones de secano, pero con mayor pluviometría. En trabajos realizados en el extranjero, Zishiri (2009) también señala efecto del sexo sobre PN en ovinos Dorper, Ile de France y Merino en condiciones extensivas. El efecto del género y del tipo de parto sobre PN es concordante con otras fuentes bibliográficas: Cloete *et al.* (1998); Greef *et al.* (2003) y Safari *et al.* (2007). En relación a este punto, Rhind *et al.* (1980), señalan que el número de cotiledones placentarios no varía según el sexo del feto. El peso y tamaño de los cotiledones de una placenta que está asociada a un macho, es sin embargo, aproximadamente 10,5% superior que las asociadas a las hembras, lo que supondría un mayor paso de nutrientes hacia el feto.

7.2.2 Tasa de crecimiento

7.2.2.1 Coeficiente de variación

Para esta variable, se registraron inferiores coeficientes de variación que los obtenidos para peso al nacer. En ambas razas la variación observada fue similar, con C.V. de 12,2 y 11,6%, para las razas Suffolk y Merino Precoz, respectivamente. Estos valores son, inferiores a los informados por Safari *et al.* (2005) quienes producto de 19 estimaciones, sin distinción de razas, obtuvieron un valor promedio de $19,8 \pm 1,5\%$. La mayor variación obtenida por estos autores coincide con las publicaciones de Rao y Notter (2000) quienes informan un C.V. de 23% en ovinos Suffolk, y con las de Notter y Hough (1997); Bromley *et al.* (2000) y Rao y Notter (2000) que obtuvieron un C.V. que fluctuó entre 15 y 20% en razas doble propósito. A pesar de la diferencia encontrada entre la literatura respecto al presente trabajo, para la construcción de los índices de selección, se utilizó el valor de la variación fenotípica obtenida en este estudio a través del CM del error informado en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Análisis de varianza para tasa de crecimiento en corderos Suffolk y Merino Precoz

Fuente de variación	Suffolk Down			Merino Precoz		
	GL	CM	Valor P	GL	CM	Valor P
Año	2	7.921	0,000	2	12.884,3	0,001
Edad de la madre	4	3.526	0,017	4	83.093,2	0,001
Tipo de parto	1	88.847	0,001	1	122.732,0	0,002
Sexo	1	7.027	0,014	-	-	N.S.
Año*Edad de la madre	-	-	N.S.	8	39.203,8	0,001
Año*Tipo de parto	-	-	N.S.	2	49.049,0	0,002
Estación de parto*Sexo	-	-	N.S.	3	76.493,7	0,000
Edad al destete	1	122.149	0,000	1	409.506,3	0,001
Error	324	1.150		693	1.208,7	
Total	329			714		

GL: grados de libertad. CM: cuadrado medio. Valor P: valor de probabilidad al 5%

7.2.2.2 Efectos no genéticos

El análisis de los principales efectos no genéticos sobre TC se analizan en forma independiente en el Suffolk y Merino Precoz, debido a que en el análisis de mínimos cuadrados, en los corderos Suffolk no existió ninguna interacción importante, sin embargo, en el Merino Precoz las interacciones año edad de la madre ($A \times E$); año con tipo de parto

($A \times T$) y sexo con estación de parto ($EP \times S$), fueron significativas. Las fuentes de variación importantes para cada raza se muestran en el Cuadro 12:

7.2.2.2.1 Raza Suffolk Down: En corderos de esta raza, salvo la estación de parto, todos los efectos principales incluida la regresión lineal de la edad sobre el peso a los 100 días fueron altamente significativos para esta característica ($P < 0,05$). El promedio mínimo cuadrado para las fuentes de variación importantes se presentan en el Cuadro 13:

Cuadro 13. Promedios mínimo cuadrado (promedio y desviación estándar) en ovinos Suffolk obtenido en las principales fuentes de variación para tasa de crecimiento

	Media
μ	278,3
Año	
2008	268,7 \pm 4,15 ^a
2010	288,8 \pm 3,42 ^b
2011	277,3 \pm 3,1 ^c
Edad de la madre (años)	
2	274,0 \pm 3,84 ^a
3	286,2 \pm 4,09 ^b
4	273,4 \pm 4,09 ^a
5	287,0 \pm 4,48 ^b
6	270,8 \pm 5,36 ^a
Tipo de parto	
Únicos	296,0 \pm 2,39 ^a
Mellizos	260,5 \pm 3,34 ^b
Sexo	
Hembra	272,4 \pm 3,11 ^a
Macho	284,2 \pm 3,23 ^b

Efecto año. De la misma manera que para PN, el efecto año fue altamente significativo ($P < 0,05$) sobre la TC. En el año 2010 se obtuvieron incrementos de peso significativamente mayores respecto a 2008 y 2011, en los cuales el incremento de peso de los corderos fue similar. Llama la atención que los incrementos de pesos obtenidos en los diferentes años no presentan relación con la pluviometría de cada año, ya que durante 2008, 2010 y 2011 precipitaron 329; 201,1 y 98,3 mm, respectivamente. Dado que en el efecto año interactúan varios eventos imposibles de separar (sanidad, carga animal, distribución de las precipitaciones), no es posible determinar cuál fue la principal causa del mayor incremento de peso observado durante 2010.

Edad de la madre. Los corderos hijos de madres de dos años tuvieron un incremento de peso de 4,5% menor que los corderos cuyas madres eran de cinco años. Estos resultados se deben a diferencias en el tamaño corporal, consumo de materia seca y producción de leche entre ovejas de primer parto y hembras maduras (Macedo y Arredondo, 2008; Zishiri, 2009). Llama especialmente la atención que el incremento de peso de los corderos hijos de ovejas de 4 años informados en el Cuadro 13 sean similares a la de los hijos de hembras de 2 años, en circunstancia que el peso al nacer a esta edad de la madre fue significativamente mayor. Una situación similar ocurre en los corderos hijos de madres de 5 años. En este caso con un peso al nacer bajo (Cuadro 11), se obtuvieron los mayores incrementos de peso. Faltan antecedentes para explicar estos resultados, ya que para esta raza las interacciones nunca fueron importantes.

Tipo de parto. Los corderos nacidos únicos, crecieron a una mayor tasa que los mellizos. La diferencia porcentual de este efecto es menor que el efecto del tipo de parto sobre PN. La TC de corderos nacidos únicos fue 13,6% mayor, lo que corresponde a 35,5 g. Los resultados concuerdan con los informados por Ozder *et al.* (2009), quienes señalan que los corderos nacidos únicos tienen una ganancia diaria de peso superior entre 13 y 17% en relación a los nacidos como mellizos. La razón de la marcada influencia del tipo de parto sobre TC, se debe a una mayor competencia por la leche materna (Dixit *et al.*, 2001; Álvarez *et al.*, 2010).

Sexo. Como se observa en el Cuadro 13, se encontraron diferencias de 11,8 g día⁻¹ (4,3%) en ganancia de peso pre-destete a favor de los machos. La diferencia entre sexos, a pesar de haber sido significativa, fue de escasa magnitud. Estos resultados concuerdan con los encontrados por Shrestha *et al.* (1985) y Sidwell y Miller (1971) en ovinos de esta raza. Diferencias en los cromosomas sexuales, probablemente en la posición de los genes relacionados con crecimiento, características fisiológicas y diferencias del sistema endocrino (tipo y cantidad de secreción de hormonas, especialmente sexuales) conllevan a estas diferencias en la tasa de crecimiento entre sexos (Baneh y Hafezian, 2009).

La literatura señala que en la medida que los corderos aumentan en edad y/o condiciones nutricionales mejoran, la diferencia entre sexos se incrementa (Bianchi, 2006), no obstante, cuando la alimentación es restringida esta diferencia tiende a desaparecer (Bianchi y Garibotto, 2002; Bianchi *et al.*, 2003).

7.2.2.2.2 Raza Merino Precoz. Para TC en ovinos Merino, resultaron importantes los efectos principales año, edad de la madre y tipo de parto. Pero a diferencia de lo observado en el Suffolk, las interacciones año de nacimiento con edad de la madre ($A \times E$); año de nacimiento con tipo de parto ($A \times T$) y estación de parto con sexo ($EP \times S$) fueron importantes. No se han informado ensayos en Chile realizados en ovinos Merino manejados en condiciones similares que señalen interacciones significativas entre efectos no genéticos para la tasa de crecimiento. Otras investigaciones en razas muy diferentes al Merino Precoz han encontrado, sin embargo, interacciones entre $A \times T$ en condiciones extensivas (Mahammadi *et al.*, 2010 y Beneh y Hefazian, 2010).

Interacción año-edad de la madre. En el Cuadro 14 se entregan los promedio mínimo cuadrado de esta interacción. En todos los años el mayor incremento de peso se observó en las hembras de cuatro años, no obstante lo cual, la diferencia en el incremento de peso de los corderos cuyas madres tenían cuatro años respecto a la obtenida por los corderos provenientes de hembras de dos y tres años fue muy inferior en el año 2008, respecto a la observada en 2010 y 2011. En 2008, la superioridad de los corderos hijos de madres de cuatro años respecto a las ovejas de dos y tres años fue en promedio de 2,3%. Similar comparación hecha con el promedio de los años 2010 y 2011 para estas mismas edades, la diferencia promedio fue de 7,0%. La superioridad en la TC de los corderos hijos de hembras de cuatro años fue en cambio de 13,5% en relación a los hijos de vientres de cinco y seis años durante 2008, sin embargo, similar comparación respecto al promedio de 2010 y 2011 sólo fue de 3,9%.

Cuadro 14. Efecto de la interacción año con edad de la madre sobre la tasa de crecimiento en corderos Merino Precoz

Edad de la madre (años)	Año			Promedio edad de la madre
	2008	2010	2011	
2	306,4 ^{abcdef}	287,2 ^{abcd}	300,1 ^{abcdef}	297,9 ^C
3	297,8 ^{abcdef}	285,6 ^{abcde}	306,3 ^{abcdef}	296,6 ^C
4	309 ^{abdef}	306,4 ^{abdef}	324,7 ^{abef}	313,4 ^D
5	273,9 ^{acd}	299,9 ^{abcdef}	307 ^{abcdef}	293,6 ^C
6	270,6 ^{abcde}	290,9 ^{abcde}	317,4 ^{abef}	293,0 ^C
Promedio año	291,5^A	294,0^A	311,1^B	298,9^C

Letras minúsculas distintas en misma columna indican diferencias significativas. Letras mayúsculas distintas en misma fila indican diferencias significativas.

Interacción año-tipo de parto. En el Cuadro 15 se señalan los promedio mínimo cuadrado para esta interacción. Como se observa, los mellizos tuvieron un incremento de peso ligeramente superior a los únicos en 2008 (0,48%), año en el cual se obtuvieron los menores incrementos de peso promedio, en cambio en 2011, la diferencia a favor de los únicos fue de 3,4% y en 2010 de 6,8%.

Cuadro 15. Efecto de la interacción año con tipo de parto sobre la tasa de crecimiento en corderos Merino Precoz

Tipo de parto	Año			Promedio tipo de parto
	2008	2010	2011	
Únicos	290,8 ^{abce}	303,6 ^{abe}	316,3 ^{de}	303,6 ^C
Mellizos	292,3 ^{abce}	284,4 ^{ac}	305,9 ^{abde}	294,2 ^D
Promedio Año	291,5^A	294,0^A	311,1^B	298,9

Letras minúsculas distintas en misma columna indican diferencias significativas. Letras mayúsculas distintas en misma fila indican diferencias significativas.

Interacción estación de parto-sexo. A pesar que ninguno de los efectos principales fue significativo, las hembras tuvieron un incremento de peso 2,94% superior que los machos en la época temprana, en cambio en la época tardía, los machos superaron a las hembras en un 4,6%. Lo observado confirma que la superioridad de los machos sólo se exterioriza cuando los animales disponen de mayor calidad y disponibilidad de materia seca (Bianchi, 2006). Otros investigadores, aunque con otras razas y bajo diferentes sistemas de producción a lo de Rinconada, han descrito que el sexo del cordero no influye sobre el

incremento de peso postnatal (Dickson-Urdaneta *et al.*, 2004; Leguiza *et al.*, 2007 y Mohammadi *et al.*, 2010).

La significancia estadística del efecto año y estación de parto y las interacciones ($A \times E$), ($A \times T$) y ($EP \times S$) confirman la importancia del ambiente en el aumento de peso de los corderos. Lo anterior podría estar relacionado con la disponibilidad y calidad del forraje en respuesta a condiciones climáticas erráticas de años específicos (Dickson-Urdaneta *et al.*, 2004).

7.2.2.3 Edad al destete

El efecto de la edad sobre características pre-destete ha sido estudiado en distintas razas por varios autores (Montaldo *et al.*, 2011; Zambrano, 1997; Shrestha y Vesely, 1986; Mousa *et al.*, 1999; Ozder *et al.*, 2009 y Álvarez *et al.*, 2010). Se corrobora en esta investigación que el efecto de la edad sobre la ganancia de peso tiene una tendencia lineal similar y negativa para corderos de ambas razas. Esto se debe a que la velocidad de crecimiento de los animales va disminuyendo a medida que aumenta la edad.

En este trabajo, el coeficiente de regresión fue similar en las dos razas estudiadas, este valor fue $-1,689 \pm 0,16 \text{ g día}^{-1}$ y $-2,224 \pm 0,12 \text{ g día}^{-1}$ para la raza Suffolk y Merino Precoz, respectivamente ($P < 0,01$). En los ovinos, la tasa de crecimiento es mayor y creciente en los primeros días de vida del cordero relacionado con una producción de leche ascendente por parte de la madre hasta el pico de producción. Una vez que la hembra alcanza el máximo de producción de leche, la TC disminuye (Zambrano, 1997; Rodríguez *et al.*, 2004).

7.2.3 Parámetros fenotípicos para características del vellón

El peso de vellón sucio y sus características sólo se analizaron para Merino Precoz, dado que sólo para esta raza el índice de selección considera la producción y características de la lana. Los resultados de los análisis de varianza se señalan en el Cuadro 16. La variación fenotípica utilizada para el cálculo de los índices de selección de la presente tesis proviene de los resultados obtenidos del análisis de varianza para PVS, DF y LM.

Cuadro 16. Análisis de varianza para peso del vellón sucio, diámetro de fibra y largo de mecha en borregas Merino Precoz

Fuente de variación	Peso del Vellón (kg)			Diámetro de fibra (μm)			Largo de mecha (mm)		
	GL	CM	Valor P	GL	CM	Valor P	GL	CM	Valor P
Edad esquila	1	1,4908	0,026	-	-	-	-	-	-
Edad de la madre	2	1,0198	0,034	1	13,175	0,049	1	0,03	0,857
Tipo de parto	1	4,2644	0,000	1	7,73	0,129	1	1,87	0,175
EdM*TP	-	-	-	1	1,44	N.S.	-	-	-
Error	188	0,296		102	3,31		102	293,8	
Total	192			105			105		

GL: grados de libertad. CM: cuadrado medio. EdM: edad de la madre. TP: tipo de parto. Valor P: valor de probabilidad al 5%.

7.2.3.1 Peso de vellón sucio

7.2.3.1.1 Coeficiente de variación

El C.V. registrado para PVS fue 14,0%. Este valor se encuentra en el rango inferior de lo obtenido por otros autores. Bromley *et al.* (2000); Rao y Notter, 2000 informan un C.V. para PVS entre 15 y 22%. Safari *et al.* (2005) obtienen un C.V. promedio para razas de doble propósito $16,2 \pm 0,6\%$ producto de 15 estimaciones.

7.2.3.1.2 Efectos no genéticos

Como se observa en el Cuadro 16 las fuentes de variación importantes fueron la edad de la madre, tipo de parto y edad a la esquila, donde el tipo de nacimiento es la más importante. El peso del vellón sucio de las hembras provenientes de partos únicos fue de 4,01 kg y el de las mellizas de 3,69 kg, lo cual significa una menor producción de 324 g, correspondiente a una diferencia de 8,7%. Fourie y Heydenrych (1982), estudiaron esta característica en ovinos Merino a los 18 meses. Los investigadores informan que el peso de vellón es afectado de manera importante por el tipo de nacimiento. En el país, los resultados han sido diferentes según la raza en estudio. García *et al.* (1980), en ovinos Suffolk no encontraron diferencias en producción de lana a los 16 meses de edad; mientras que Vega *et al.* (1980), informan que los corderos nacidos únicos producen hasta un 8% más de lana que los mellizos en su primera esquila (14 meses). Otros trabajos con ovinos Merino que cuantifican la diferencia de producción de lana entre hembras nacidas únicas y mellizas son reportados por Fourie y Heydenrich (1982), Heydenrych (1975) y Snowden y Shelton (1988) quienes señalan una diferencia de 180, 420 y 140 g por el efecto del tipo de nacimiento. Según Brown *et al.* (2001), el número de corderos nacidos o criados repercute

en una menor disponibilidad de nutrientes para el crecimiento y desarrollo corporal y folicular tanto pre como postnatal. Este efecto persiste además por largo tiempo después del destete (Denney *et al.*, 1986).

Por otra parte, García (1986); Pitchford y Ch'ang, (1990); Cloete *et al.* (1998a) y Brown *et al.* (2001) reportan que el peso del vellón a la primera esquila se ve afectado además por la edad la madre agrupada en distintas categorías etarias. Esto es, hijas de hembras primerizas producen menos lana (limpia y sucia) que la progenie de hembras de más de un parto, debido a un menor tamaño corporal de los animales provenientes de hembras de primer parto (Brown *et al.*, 2001). En este trabajo, las borregas hijas de hembras de 4 y 5 años, tuvieron el mayor peso del vellón correspondiente a 3,995 kg, este valor es superior en un 4,7% al peso del vellón de borregas cuyas madres tenían 2 y 3 años (3,82 kg) y en un 6,6% al peso del vellón de los animales hijas de hembras de 6 años (3,74 kg).

7.2.3.2 Diámetro de fibra

7.2.3.2.1 Coeficiente de variación

De las características de vellón analizadas, el diámetro de fibra presentó el menor coeficiente de variación (7,7%). Este valor es muy similar al coeficiente de variación promedio informado por Safari *et al.* (2005) en razas doble propósito ($7,2 \pm 0,5\%$) y de lana ($7,4 \pm 0,3\%$), resultados obtenidos de 5 y 19 trabajos, respectivamente. Esta variación es ligeramente inferior a la reportada previamente por Fogarty (1995), quién informa un C.V. de 8% para esta característica únicamente en razas de lana.

7.2.3.2.2 Efectos no genéticos

Los resultados de este trabajo para DF señalan que el diámetro podría estar influenciado desfavorablemente por la edad de la madre ($P=0,049$). El diámetro de la fibra de las borregas de 18 meses hijas de madres primerizas fue 22,76 micras y el de las hijas de tres y más años de 24,74 micras. Brown *et al.* (2001), García (1986) y Ponzoni (1973) informan un efecto similar, sin embargo, Cloete *et al.* (1998a), no obtuvieron diferencias importantes en ovinos Dohne Merino. A pesar que en este trabajo se consideró importante el efecto de la edad de la madre, los resultados no son concluyentes con respecto a la importancia y magnitud de este efecto; ya que cuando se analizó la variable DF únicamente con el efecto de la edad de la madre como fuente de variación, ésta perdió significancia estadística ($P=0,119$).

7.2.3.3 Largo de mecha

7.2.3.3.1 Coeficiente de variación

El C.V. obtenido para LM fue 18,4%. Este valor es ligeramente menor al publicado por Notter *et al.* (2007); sin embargo, es sustancialmente mayor al informado por Brombley *et al.* (2000) quienes consideraron distintas razas de doble propósito obteniendo un promedio de 13%. El valor calculado también es mayor al de la revisión de literatura de Safari *et al.* (2005) donde los autores obtienen un C.V. de $14,0 \pm 1,0\%$ producto de 5 estimaciones.

En este trabajo, no fueron significativos los efectos tipo de parto, edad de la madre y su interacción como tampoco la edad a la esquila. Estos resultados concuerdan con Fourie y Heydenrych (1982) y Cloete *et al.* (1998a) quienes informan que no existen efectos ambientales que afecten el largo de mecha.

7.2.3.4 Edad a la esquila

En este trabajo se observó significancia estadística de la edad a la esquila únicamente para peso del vellón. Los resultados concuerdan con los reportados por Hazel y Terril (1946) y Cloete *et al.* (1998a) quienes señalan que existe significancia estadística de la edad a la esquila sobre PVS, pero no para LM y DF.

7.2.4. Correlaciones fenotípicas (r_p)

7.2.4.1 Correlaciones fenotípicas entre PN y TC

La correlación fenotípica entre PN y TC se realizó con los datos corregidos [Ec 6] por todas aquellas fuentes de variación significativas de ambas características. La correlación estimada en corderos Suffolk resultó positiva aunque baja, siendo su valor de 0,12 ($P=0,036$); mientras que en el Merino Precoz, el valor de la r_p fue aún más baja y negativa ($r_p=-0,05$), aunque su valor no difirió estadísticamente de cero ($P=0,14$).

Los resultados son similares para la raza Suffolk a las estimaciones de Mousa *et al.* (1999) y Roshanfekar *et al.* (2011), quienes obtienen un r_p de 0,13 en ovinos compuestos y 0,12 en ovinos árabes, respectivamente. Para el caso del Merino Precoz, Ozder *et al.* (2009) y Dixit *et al.* (2001) encontraron en distintos ensayos una r_p baja y similar a este estudio ($r_p=-0,01$ y 0,03 respectivamente en ovinos Merino y Bharat, respectivamente). Las estimaciones realizadas en este trabajo, sin embargo, son inferiores a los valores publicados por Thrift *et al.* (1973) ($r_p=0,28$) en ovinos Suffolk, Maria *et al.* (1999) ($r_p: 0,37$) en la raza Romanov y Jurado *et al.* (1994) ($r_p: 0,35 \pm 0,53$) en Merino Español.

De acuerdo a Cardellino y Rovira (1995), se espera una correlación fenotípica positiva entre estas dos variables; esto es, animales con mayores pesos al nacimiento tienden a

crecer más rápido, sin embargo, esta correlación es inferior a la correlación genética entre PN y TC (r_G : 0,27 y r_P : 0,13; Safari *et al.*, 2005). Es posible que los valores de r_P y r_G sean muy diferentes, ya que la r_P no es un buen indicador de la r_G . Esta aseveración se desprende de la demostración desarrollada por Falconer y Mackay (1996), donde $r_P = r_G h_X h_Y + r_E \sqrt{1 - h_X^2} \sqrt{1 - h_Y^2}$. \mathbf{X} e \mathbf{Y} son dos características distintas y \mathbf{h}_X y \mathbf{h}_Y la raíz cuadrada de los índices de herencia respectivos.

Los resultados sugieren que no hay una clara relación entre PN y la velocidad de crecimiento post natal en el Merino Precoz, ya que los incrementos de peso registrados para ambas razas, no ocurrieron en las mismas etapas del año. Incluso, el mayor incremento de peso se observó en el año 2011, temporada en la cual se obtuvo el menor peso al nacimiento en el Merino.

7.2.4.2 Correlaciones fenotípicas entre peso del vellón sucio, diámetro de fibra y largo de mecha

Se calcularon correlaciones fenotípicas con los datos ajustados aditivamente [Ec.5 y 6] para PVS, DF y LM. Los resultados se presentan en el Cuadro 17:

Cuadro 17. Correlaciones fenotípicas entre peso vellón sucio (PVS), diámetro de fibra (DF) y largo de mecha (LM) en ovinos Merino Precoz

PVS-DF	PVS-LM	DF-LM
0,043 (Valor P= 0,664)	-0,207 (Valor P= 0,03)	0,035 (Valor P= 0,721)

Las correlaciones fenotípicas calculadas entre DF con PVS y con LM no difieren estadísticamente de cero ($P > 0,05$). Estos resultados no son consistentes con la literatura revisada. De acuerdo a la revisión Safari *et al.* (2005), las r_P de DF con PVS y LM son superiores a las encontradas en este trabajo: 0,31 (0,14-0,45) para PVS con DF producto de 15 estimaciones, y 0,19 (0,01-0,37) para DF con LM producto de 9 estimaciones, respectivamente. Correlaciones fenotípicas inferiores a la revisión realizada por Safari *et al.* (2005) entre PVS-DF, pero superiores a las encontradas en este trabajo, son informadas por Mueller *et al.* (2003) en dos planteles Merino en la Patagonia Argentina (r_P : 0,1 y 0,25; $P < 0,05$). Otros autores han estimado r_P entre DF con LM en ovinos Merino. Atkins (1997) (r_P : 0,15); Mortimer y Atkins (1989) (r_P : 0,09); Swant *et al.* (1995) (r_P : 0,16); Greeff *et al.* (1995); (r_P : 0,11-0,26) y Cloete *et al.* (1998b) (r_P : 0,13±0,02). A excepción de los resultados de Mortimer y Atkins (1989), la literatura indica correlaciones fenotípicas superiores a 0,10 entre estas dos variables.

De acuerdo a Safari *et al.* (2005), la r_P promedio entre PVS con LM es media y positiva. El valor informado por los autores es 0,32 (0,18-0,45) producto de 5 trabajos. La correlación fenotípica entre PVS con LM estimada en la presente tesis, no obstante su significancia estadística ($P=0,03$), difiere sustancialmente a la revisión de Safari *et al.* (2005) y a la de otros investigadores (Swant *et al.*, 1995: $r_P=0,37$ y Mortimer y Atkins, 1989: $r_P=0,28 \pm 0,04$). Por este motivo, se utilizaron las r_P informadas por Safari *et al.* (2005) para el cálculo del índice de selección en el Merino Precoz.

7.2.4.3 Correlaciones fenotípicas entre características del vellón y crecimiento en ovinos Merino Precoz

Los resultados obtenidos de las r_P entre características de vellón con PN y TC se presentan en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Correlaciones fenotípicas entre características de vellón con peso al nacer (PN) y tasa de crecimiento pre-destete (TC) en ovinos Merino Precoz

PVS-PN	DF-PN	LM-PN	PVS-TC	DF-TC	LM-TC
0,021	-0,081	0,123	-0,106	-0,028	0,05
(P-value:0,78)	(P-value:0,41)	(P-value:0,21)	(Pvalue:0,143)	(Pvalue:0,77)	(Pvalue:0,611)

De acuerdo a los resultados ninguna r_P entre características de vellón con PN y TC fue significativa ($P>0,05$). Esto sugiere que los registros disponibles de vellón son pueden no ser suficientes para una correcta estimación de estos parámetros fenotípicos. Según Olson *et al.* (1976), las correlaciones obtenidas en condiciones de pastoreo extensivo y en suelos marginales, son generalmente bajas, incluso pueden ser nulas debido a una alta participación del ambiente, sin embargo, esto no implica que haya independencia genética (Cardellino y Rovira, 1995).

De acuerdo a la revisión de literatura de Safari *et al.* (2005) las correlaciones fenotípicas entre PN con PVS y DF son: 0,24 (0,05-0,41) y -0,05 (-0,11;-0,01) producto de tres y dos estimaciones, respectivamente. No se han publicado, sin embargo, correlaciones fenotípicas entre PN con LM en la literatura revisada en esta investigación.

Por otra parte, según Safari *et al.* (2005) las correlaciones fenotípicas entre TC con características de la lana son positivas, pero bajas: 0,25 (0,11-0,39); 0,05 (-0,06 a 0,16) y 0,01 (-0,03 a 0,05) para TC con PVS, DF y LM, respectivamente producto de 10, 8 y 7 estudios. Esto difiere, sin embargo, del análisis realizado en la presente tesis, ya que a excepción de la r_P entre TC con LM, la r_P entre TC con PVS y DF entregaron resultados negativos, aunque los valores obtenidos no difieren estadísticamente de cero (Cuadro 18).

A pesar de la similitud de la r_P entre DF con PN y LM con TC con la revisión de Safari *et al.* (2005) y la significancia estadística entre PVS con LM ($P=0,03$), los resultados de las correlaciones fenotípicas calculadas en la presente tesis, en general, no son consistentes con las estimaciones reportadas en la literatura (Lewer, 1994; Bromley *et al.*, 2000; Hanford *et al.*, 2002, 2005, 2006; Ozcan, 2005, 2009; Rao y Notter, 2000; Notter y Hough, 1997; Van Vleck *et al.*, 2003; Notter *et al.*, 2007; Naido y Cloete, 2006 y Safari *et al.*, 2006). Por este motivo se consideró utilizar para el cálculo de los índices de selección las correlaciones fenotípicas entregadas en la revisión de literatura resumida por Safari *et al.* (2005) entre características del vellón, y entre éstas con PN y TC.

De acuerdo a Safari *et al.* (2006), un índice de selección calculado con parámetros genéticos y fenotípicos estimados con información del rebaño, es en la mayoría de la veces mejor, pero nunca menos eficiente que utilizar parámetros obtenidos de la literatura. Sin embargo, en la práctica no hay inconvenientes importantes para calcular un índice basado en parámetros de otra población estimados para una misma raza o línea y manejada en condiciones ambientales similares. Dado este argumento, el índice que se calculó reflejaría la ganancia genética esperada para cada una de las características incluidas, a pesar que se emplearon parámetros genéticos y fenotípicos que no son propios del predio.

7.3 Estimación de las ponderaciones económicas relativas

Distintos autores concuerdan que para la estimación de los ponderadores económicos se requiere de un análisis de los costos e ingresos del predio (Borg, 2005; Conington *et al.*, 2004 y Köbrich *et al.*, 1992). De acuerdo a Conington *et al.* (2004) el valor económico de cada variable objetivo de selección puede variar considerablemente dependiendo del sistema productivo. Es por ello, que los valores para calcular ponderaciones económicas deben provenir de la misma población a la que se le calcula el índice, y los precios a partir de series históricas. Estos valores no son posibles de obtener de la literatura, debido a que en cada país y/o región existen relaciones costos-beneficio diferentes (Mueller, 1987; Köbrich *et al.*, 1992).

En este estudio las ponderaciones económicas calculadas a través de la ecuación 11 reflejan el incremento neto de aumentar en una unidad de medida cada carácter de interés. Se utilizó dicha ecuación debido a su simplicidad, facilidad de interpretación y a que este método se recomienda al inicio de un programa de selección (García y Gallardo, 2005; Kuprová *et al.*, 2008). Estos resultados, además de las ponderaciones económicas relativas y estandarizadas se presentan en los Cuadros 19 y 20 para ovinos Suffolk y Merino Precoz, respectivamente.

Cuadro 19. Ponderaciones económicas relativas y estandarizadas para peso al nacer y tasa de crecimiento en ovinos Suffolk

Característica	Unidad	¹ $\Delta IN(\$)$	² a_r	³ a_s
Peso nacimiento	kg	973,7	13,6	288,2
Tasa de crecimiento	g día ⁻¹	71,9	1	1005,3
Suma valores absolutos		1045,6		

1: ingreso neto calculado 2: ponderación relativa 3: ponderación económica estandarizada

Cuadro 20. Ponderaciones económicas relativas y estandarizadas para peso del vellón sucio, diámetro de fibra, largo de mecha, peso al nacer y tasa de crecimiento en ovinos Merino Precoz

Característica	Unidad	¹ $\Delta IN(\$)$	² a_r	³ a_s
Peso vellón sucio	kg	762,8	11,7	259,4
Diámetro de fibra	µm	-65,4	-1	-89,6
Largo de mecha	mm	0	0	0
Peso nacimiento	kg	551,5	8,4	171
Tasa de crecimiento	g día ⁻¹	66,6	1,02	954,4
Suma de valores absolutos		1321,08		

1: ingreso neto calculado 2: ponderación relativa 3: ponderación económica estandarizada

Tasa de crecimiento. Para calcular el ingreso marginal del aumento de la TC, se calculó el costo económico en que debe incurrir el productor para aumentar en una unidad la tasa de crecimiento [Ec.12]. Para ello se determinó el valor económico de un kilo de materia seca dada la productividad del campo. De acuerdo al análisis realizado, el costo de un kilo de materia seca en la E.E. de Rinconada es de \$2,7 pesos (Anexo 2, Cuadros 35 y 36). Según el costo estimado, un consumo adicional de 6,1 kg de materia seca (que implica aumentar en un kilo el peso al destete) del par ovejas-cordero es de \$16,4 pesos. El valor de cada gramo en la tasa de crecimiento es de \$0,72 pesos, si se considera que la edad promedio al destete fue 99,7 y 92,4 días en las razas Suffolk y Merino, respectivamente, el aumento de un gramo en la tasa de crecimiento representa un aumento de \$72 y \$66,6 pesos en el ingreso neto en las dos razas estudiadas.

Peso al nacer. Se determinó el valor económico de PN como el peso adicional al destete a consecuencia del aumento de un kilo de peso al nacer. El valor de esta regresión, el consumo y costo extra se muestra en Cuadro 21.

Cuadro 21. Regresión fenotípica entre PN y PD (b_{PD-PN}), consumo adicional de MS, costo del mayor consumo de MS y valor económico de un kilo de cordero

Raza	b_{PD-PN} (kg)	Consumo Kg/MS	Costo MS \$	Kg cordero \$
Suffolk Down	1,35	8,2	22,1	737,3
Merino Precoz	0,8	4,7	12,6	737,3

Este valor es diferente para la raza Merino Precoz y Suffolk Down debido a la diferente variabilidad y correlación fenotípica entre PN y PD encontrada en las dos razas (r_P : 0,18, σ_{PN} : 0,72 y σ_{PD} : 3,1 en ovinos Merino y r_P : 0,29, σ_{PN} : 0,76 y σ_{PD} : 3,5 en ovinos Suffolk). Como se observa en el Cuadro 21, el aumento de un kilo en el PN de corderos Suffolk representa aproximadamente 1,35 kilos más de peso al destete y 800 gramos en corderos Suffolk y Merino Precoz, respectivamente (Anexo 2, Cuadros 37 y 38). El aumento en el costo por el mayor consumo de materia seca equivalente es de \$22,1 y \$12,6 pesos en el mismo orden; por lo tanto el incremento en el ingreso neto al aumentar un kg el PN es: \$973,7 y \$551,5 en la raza de carne y doble propósito, respectivamente. Esta ponderación de PN es positiva ya que la intención es aumentar el peso al nacer dado que no existen problemas de partos distócicos. Esto es diferente, sin embargo, en el ganado bovino de carne, ya que distintos autores han calculado una ponderación cero para esta variable, incluso negativa ya que la intención de los criadores es tener terneros con bajos pesos al nacer y con altas tasas de crecimiento y pesos al destete (Dzama *et al.*, 2001; Kahi y Hirooka, 2007; Melucci *et al.*, 2009).

Peso del vellón sucio. En relación al peso del vellón sucio, se obtuvo el promedio de venta de lana sucia correspondiente al período 2008-2011 con los precios reales a diciembre 2011 de acuerdo a las ecuaciones 9 y 10. Este valor corresponde a \$762,8 pesos (Anexo 2, Cuadro 31). Los valores de IPC de los períodos correspondientes se obtuvieron del INE (Instituto Nacional de Estadísticas, 2012).

Largo de mecha. Según Mueller (2000) el LM crítico es de 9 a 9.5 cm (dependiendo del diámetro). Mechales más cortas pueden recibir descuentos importantes y lanas finas muy largas también pueden tener pequeños descuentos, debido probablemente al ajuste que requerirían las máquinas de hilado. A pesar que diversos autores han señalado la importancia económica del largo de mecha (Mueller, 1985, 2000, 2001; Matabesi-Ranthimo 2007; Wuliji *et al.*, 2001; Safari *et al.*, 2005), no existe en el mercado nacional una pauta de pago objetiva de la lana según el largo de esta variable. La empresa MVorwerck ® castiga un largo de la mecha inferior a 70 milímetros, pero sobre este largo,

la lana no recibe bonificación⁴. En Australia existe un rango de largo de mecha donde se obtiene el máximo precio el cual varía según sean lanas finas, medias o gruesas (Polanco, 2005).

El premio o la penalización en el precio de la lana en Australia ocurren con largos de mecha menores a 75 mm y sobre los 105 mm. El largo de mecha promedio de la población de borregas Merino Precoz a la primera esquila es $9,28 \pm 1,32$ cm, por lo que aumentar o disminuir este carácter en una unidad, no tendría repercusión económica; esto explica que se asignara un valor cero ($a_{LM} = 0$) a la ponderación económica relativa de esta variable.

Diámetro de fibra. La ponderación económica calculada para diámetro de fibra fue \$-65,4 pesos. Este valor refleja la pérdida en el ingreso neto (ΔIN) por cada micra más de diámetro (ΔDF), motivo por el cual esta ponderación tiene signo negativo. De acuerdo a este resultado, el valor económico de una micra (μm) del diámetro de la fibra representa aproximadamente 8,5% del valor del precio del vellón sucio. La importancia de este carácter en relación al peso del vellón (PV) ha sido determinada por SheepCRC (Cooperative Research Centre for Sheep Industry Innovation) para ovinos doble propósito en Australia. Para ovinos de esta categoría, la importancia económica del DF en comparación con el peso del vellón es: 3,5; 8 y 15%, dependiendo si los objetivos son: aumentar el peso del vellón manteniendo el diámetro, aumentar el PV y disminuir el diámetro simultáneamente, y disminuir el diámetro de la fibra manteniendo el PV, respectivamente (Taylor *et al.*, 2007).

Es importante señalar que las ponderaciones económicas obtenidas en este estudio, no pueden ser directamente comparadas con otros trabajos, a pesar de que se traten de razas similares. La razón de esto se debe a que los planteles ovinos presentan sistemas y parámetros productivos distintos, y además, condiciones de mercado diferentes (García y Gallardo, 2005). Por ello las ponderaciones económicas relativas podrían entregar una mejor aproximación de la importancia económica de cada característica o de un conjunto de ellas (Wolfová *et al.*, 2009).

De acuerdo a este estudio, el PVS es relativamente 11,7 veces más importante que el diámetro de la fibra. Como se observa en el Cuadro 22, esta relación es similar a la informada por otros investigadores en razas doble propósito, aunque esta es considerada en relación a peso del vellón limpio (PVL).

⁴ Sergio Bustamante, comunicación personal

Cuadro 22. Ponderaciones económica relativa entre peso del vellón limpio (PVL) y diámetro de fibra (DF)

Raza	Corriedale (1)	Corriedale (2)	Corriedale (3)	Corriedale (4)	Merino (5)	Doble Propósito (6)
PVL	4,2	10,6	14,6	10,4	6,9	11,8
DF	-1	-1	-1	-1	-1	-1

(1): Köbrich *et al.* (1992); (2) Mueller (1995); (3) de la Jara *et al.* (1996); (4) Cardellino y Ponzoni (1985); (5) Mueller (1985); (6) Safari *et al.* (2006).

Dado que las características están expresadas en distintas unidades de medida, la ponderación económica relativa no señala la importancia real que tiene cada uno de los caracteres en el objetivo de selección. Para determinar esta importancia, se estandarizó por la desviación estándar genética de cada característica, lo cual permite esta comparación. La ponderación estandarizada permite establecer el orden de importancia de las características consideradas en el índice de selección, las cuáles son: TC, PVS, PN y DF, por otra parte, el LM no representa importancia económica para el productor. A pesar de emplear métodos muy diferentes para estimar ponderaciones económicas, una situación similar obtuvieron Wolfová *et al.* (2009, 2011), quienes informan que la importancia económica en orden decreciente son: tasa de crecimiento, peso del vellón (limpio y sucio) y peso al nacer para razas doble propósito. Para razas de carne, sin embargo, el PN representa mayor importancia que el peso del vellón.

7.4 Cálculo de los índices de selección

7.4.1 Ovinos Suffolk Down

Índice de selección sin restricciones (I_S). Como se señaló en la introducción el motivo de haber considerado PN y TC separadamente, en vez de PD, tiene por finalidad tener la posibilidad de restringir el aumento PN si la frecuencia de partos distócicos se incrementa. En la población de la cual se obtuvieron los parámetros fenotípicos, no existe actualmente incidencia de partos con problemas, por lo tanto, en una primera etapa, la selección puede orientarse a mejorar ambas características. En el Cuadro 23 se señalan los parámetros genéticos, fenotípicos y económicos utilizados en el cálculo del índice.

Cuadro 23. Índice de herencia (h^2), varianza (σ^2) y desviación estándar (σ) fenotípica y genética, ponderaciones económicas relativas (a), correlaciones (r) y covarianzas (Cov) fenotípica y genética entre peso al nacer (PN) y tasa de crecimiento (TC) en ovinos Suffolk

	σ^2_P	σ_P	h^2	σ_A	a^1	r_P PN-TC	Cov_P PN-TC	r_G PN-TC	Cov_G PN-TC
PN	0,58	0,76	0,15	0,30	13,5				
						0,12	3,09	0,27	1,13
TC	1.150,0	33,91	0,17	13,98	1,0				

(1) Se dividió el incremento neto marginal calculado por la característica de menor importancia (TC) para obtener ponderaciones relativas.

Es importante recordar que los parámetros fenotípicos (σ_p^2 ; σ_p y r_p) y las ponderaciones económicas relativas se obtuvieron a partir de la información disponible en el rebaño experimental y del mercado nacional, respectivamente. En cambio, los parámetros genéticos se obtuvieron de la literatura. El procedimiento de cálculo usado se explica en materiales y métodos y los resultados parciales obtenidos en el anexo 1.

En el Cuadro 24 se señala el valor de los coeficientes de ponderación (b), la respuesta que se espera en cada carácter de la función objetivo por generación, y las correlaciones de índice con la función objetivo (r_{IH}), luego de seleccionar los animales que están a una desviación estándar sobre el promedio, por lo tanto, con una intensidad de selección igual a 1.

Cuadro 24. Coeficientes de ponderación (b_i), ganancia genética (ΔG_i), mejoramiento genético económico (ΔH), eficiencia relativa y correlación entre el índice y valor genético económico (r_{IH}) obtenido por generación con una intensidad de selección igual a 1, al usar un índice de selección sin restricciones (IS), con restricción y al haber selección a favor de una sola característica

Índice	Tipo de restricción	b_{PN}	b_{TC}	ΔPN		ΔTC		ΔH	Eficiencia relativa	
				(kg)	(%)	(g d ⁻¹)	(%)		(%)	r_{IH}
I_S	Ninguna	3,045	0,175	0,07	1,58	5,68	2,04	6,63	100	0,43
I_{PN}	PN	-1,979	0,155	0,00	0,00	5,30	1,91	5,30	80,00	0,34
I_{TC}	TC	1,873	-0,011	0,11	2,40	0,00	0,00	1,44	21,66	0,09
Sólo PN		1		0,12	2,59	1,46	0,53	3,01	45,49	0,19
Sólo TC			1	0,03	0,75	5,76	2,07	6,21	93,72	0,40

I_S : Índice de selección sin restricciones; I_{PN} y I_{TC} : Índice de selección cuando se restringe peso al nacer y tasa de crecimiento, respectivamente.

Dado que el valor del índice de herencia y las correlaciones genéticas se obtuvieron a partir del valor promedio de la revisión de literatura, a continuación se sensibiliza utilizando como rango los menores y mayores valores informados por Safari *et al.* (2005).

En la Figura 2 se simula el mejoramiento genético que se obtendría por generación con índices de herencia entre 0,08 y 0,32. Como se observa, el incremento de ΔH en la medida que cambia el índice de herencia es lineal, y se obtendría un importante aumento en el mejoramiento genético económico en la medida que el h^2 de TC aumenta; por ejemplo el aumento de h^2 de 0,17 a 0,32 significa un incremento del ΔH de 77,3%.

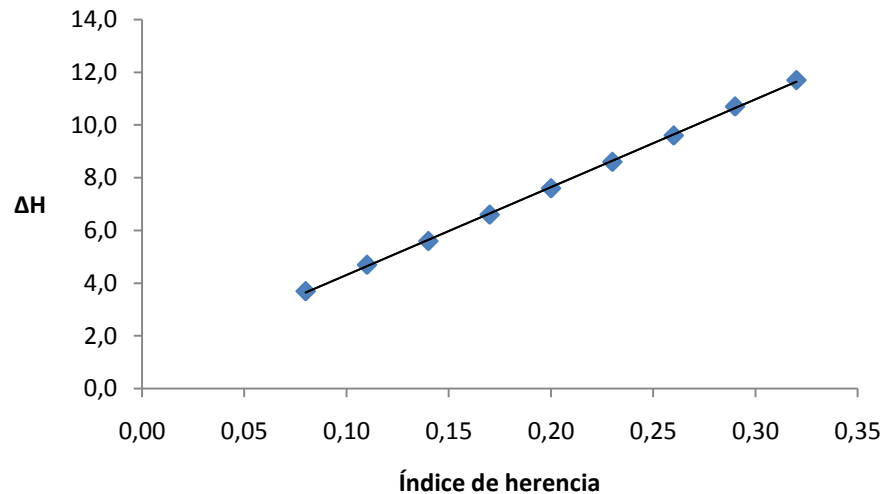


Figura 2. Respuesta genético-económica al usar un índice de selección con un valor de $i=1$, al cambiar valores del índice de herencia de tasa de crecimiento.

Similar simulación se realizó utilizando el rango que informa en la revisión de literatura de Safari *et al.* (2005) para la correlación genética. Los resultados de esta simulación se señalan en la Figura 3. En este caso, el valor de la r_G se hizo fluctuar entre -0,23 y 0,5.

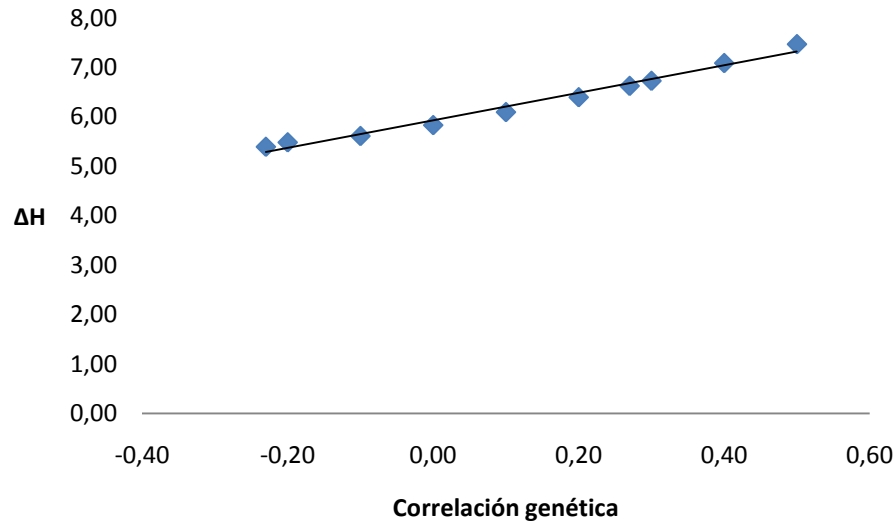


Figura 3. Respuesta genético-económica al usar un índice de selección con una $i=1$, al cambiar el valor de la correlación genética entre peso al nacer y tasa de crecimiento entre -0,23 y 0,5

Como se observa en la Figura 3, al aumentar el valor de la correlación genética, también se obtendría un aumento lineal de ΔH , no obstante, el incremento es mucho menor respecto a similar cambio del índice de herencia.

El cálculo del valor económico marginal del kilo vivo de cordero se obtuvo de la serie de precios pagados en feria entre 1990 y 2011. Como se observa en el Cuadro 39 del anexo 2, ha existido un importante incremento en el precio del kilo de cordero pagado en feria, especialmente en los últimos dos años, el cual fue 20,8 y 47,8% mayor respecto a los precios pagados en la década anterior a 2010. Interesó por tanto, analizar el efecto que este mayor valor podría tener. El resultado indica que cualquiera sea los precios que se consideren el valor de ΔH no cambia. Esto ocurre debido a que, las dos características que se consideran, se encuentran relacionadas con un aumento en los kilos de carne producidos, por tanto el incremento marginal de PN y TC en términos relativos permanece constante.

En el índice de selección obtenido, el valor fenotípico (P_i) de cada característica medida como desvío de la población recibe distinta ponderación para maximizar la correlación entre el índice y el valor genético económico (r_{IH}). En el índice sin restricciones, ambos ponderadores fueron positivos, lo que significa según Cardellino y Rovira (1995), que el

índice otorga mayor puntaje a aquellos animales que tanto, el PN como la TC, tengan registros superiores a la media de la población.

Cuando se utiliza un índice restringiendo el aumento de PN ó TC, los coeficientes de ponderación b_{PN} y b_{TC} tienen, según el caso, signo negativo al restringir PN y TC, respectivamente. Esto se debe a la necesidad de favorecer a los individuos con pesos al nacer o ganancia de peso inferiores a la media de la población cuando estos caracteres se restringen. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Winder *et al.* (1990), quienes también dedujeron coeficientes de ponderación negativos cuando se restringe PN en bovinos de carne de la raza Angus.

Con la utilización del índice de selección sin restricciones, se lograrían cambios deseables en ambas características de interés y la mayor ganancia genético económica (ΔH). Los resultados indican que se incrementaría la productividad y el retorno económico de los planteles ovinos que usan razas de carne en la zona centro y centro-sur del país. Se espera una mayor respuesta a la selección en TC dada su mayor importancia económica estandarizada. Al usar un índice sin restricciones con una intensidad de selección de 1 se espera un mejoramiento genético por generación de 70 g en PN y 5,6 g día⁻¹ en TC (Cuadro 24). Este aumento se logra debido a la correlación genética positiva y favorable entre ambas variables. Si el productor vende sus corderos al destete a los 100 días, el incremento por generación de PN y TC representaría un incremento de 98 y 560 g, respectivamente por cada cordero destetado, al considerar una edad promedio a la venta de 100 días. (La regresión entre PD y PN se muestra en el Cuadro 37 del anexo 2). La alta importancia de TC en la ganancia genético-económica obtenida en este estudio, es congruente con los resultados de un trabajo de simulación realizado en la raza Targhee por Snowden y Van Vleck (2003). Los autores señalan que los esquemas de selección que favorecen una mayor ganancia de peso en corderos (pre y post destete) tienen a su vez la mayor influencia sobre la respuesta genética y económica. En dicho trabajo, se construyeron dos índices de selección con las siguientes características: ganancia de peso post destete, peso corporal (200 días aproximadamente) y consumo de alimento en el índice I. En el índice II no se incluyó peso corporal.

En el Cuadro 24 se observa que la exactitud con que el índice estima el valor genético económico (r_{IH}) es más alta cuando se utiliza el índice sin restricciones. Esto es esperable dado que esta metodología entrega la mayor ganancia genética que reporta el máximo beneficio económico (ΔH) (Hazel, 1943). La correlación entre índice y el valor genético económico que se reporta en este trabajo es 0,43. Esta correlación es media-baja y concuerda con trabajos realizados en ovinos de diferentes razas por Swan *et al.* (2009); Conington *et al.* (2001), Mueller (1995) y Ponzoni (1992). La exactitud del índice (r_{IH}),

indica por tanto, bajos a moderadas tasas de progreso genético en la rentabilidad del programa de selección (MacNeil y Newman, 1994).

Swan *et al.* (2009) resumen los resultados del programa LAMBPLAN (llevado a cabo por Sheep Genetics, servicio de evaluación e información genética para la industria de carne y lana en Australia) durante el período 1990-2005. Los autores señalan incrementos importantes en la producción y calidad de la carne ovina, aunque los resultados no son comparables a las simulaciones realizadas en este trabajo, ya que la metodología empleada no correspondió a selección individual, sino que ésta fue complementada también con selección familiar. En el programa LAMBPLAN se construyeron índices para la selección de machos reproductores (Poll Dorset y White Suffolk) y los criterios de selección utilizados fueron: peso al nacer, peso al destete, ganancia post destete, porcentaje de grasa y profundidad de músculo. Los autores estimaron, previo al inicio del programa, una desviación estándar de índice (σ_I) de 2,7 y una correlación entre el índice y el valor genético (r_{IH}) de 0,45. La desviación estándar calculada al final del período de evaluación, superó el doble de la predicha ($\sigma_I = 7,5$). La principal razón según Swan *et al.* (2009) es debido a una mayor exactitud de la información incluida en las pruebas de progenie a través de la metodología BLUP.

Selección directa por PN y TC. Como se observa en el Cuadro 24 la mayor ganancia genética para cada característica se obtiene cuando se simuló la selección para cada característica en forma independiente. La ventaja antes señalada es, sin embargo, muy pequeña para TC ya que sólo fue 1,46% mayor. Para PN sin embargo, la ventaja de la selección directa es mucho mayor que la que se obtiene con el índice sin restricciones, ya que su valor es 64,29% superior. Es importante destacar también que la eficiencia de la selección cuando se selecciona sólo por TC disminuye sólo en 6,28% comparada con el uso del índice de selección (Cuadro 23). Esto se explica por la mayor importancia económica estandarizada de TC, la cuál es 3,49 veces mayor que la de peso al nacer.

Givens *et al.* (1960), simularon selección directa por TC comparada con un índice de selección que consideró TC y calidad de canal. Los investigadores obtuvieron similar eficiencia con estas dos opciones. En este estudio r_{IH} tuvo un valor de 0,36 tanto para la selección sólo a favor de TC como para el índice de selección anteriormente señalado. Snowden y Van Vleck (2003), obtienen una eficiencia de 83,8 y 89,8% al seleccionar sólo por incremento de peso comparado los dos índices de selección anteriormente descritos. Estos valores son ligeramente inferiores al obtenido en este estudio.

En términos porcentuales, por selección directa se obtendría una mayor ganancia en PN que en TC, a pesar de que para TC se consideró un mayor índice de herencia (h^2 : 0,17 v/s 0,15). La respuesta a la selección depende también de la variabilidad de la característica. En este

estudio, PN presentó un mayor C.V. (17,3 v/s 12,2 %) lo que explica estos resultados (Cardellino y Rovira, 1995).

Índice con restricciones El principal interés práctico en la utilización de un índice con restricciones es llevar el cambio de peso al nacer a cero. La otra opción que es restringir TC sólo tiene un interés académico, ya que difícilmente se podría recomendar esta posibilidad. Los resultados que se informan en el Cuadro 24 confirman lo anteriormente señalado, puesto que al restringir PN se pierde un 20% de eficiencia, en cambio al hacerlo con TC la pérdida es de un 78,3%.

La restricción de PN produce una mayor reducción en la eficiencia respecto a la selección sólo por TC. Esto se explica por la r_G positiva que existe entre estas dos variables ya que el valor de los h^2 utilizados fue muy parecido (PN=0,15 y TC=0,17). Es importante señalar, no obstante, que al hacer selección solo por TC se obtiene una eficiencia 13,72 puntos porcentuales superior respecto a la restricción de PN, además la respuesta correlacionada de PN al hacer selección solo por TC es muy baja (33 g que equivale a un incremento de 0,75% por generación) (Cuadro 24). Dado los resultados de la simulación demuestra que difícilmente la selección sólo por TC provocaría un incremento en PN lo suficientemente importante para producir un aumento importante en la distocia al parto.

No se han publicado reportes experimentales de selección restringiendo PN en ovinos; sin embargo, Winder *et al.* (1990); Kahi y Hirooka, (2007) y Melucci *et al.* (2009), demostraron que es posible aumentar la tasa de crecimiento y peso al destete sin aumentar el peso al nacer en bovinos de carne. Estos resultados son factibles porque existe una alta variación genética para el crecimiento que es independiente del PN (Winder *et al.*, 1990). Koch *et al.*, (1974) en bovinos de la raza Hereford, informan que se podría reducir cerca de un 30% del incremento de PN si la selección se realiza por ganancia de peso en vez de peso al destete o peso adulto.

De acuerdo a los resultados obtenidos, cualquier otro criterio de selección a excepción de seleccionar sólo por ganancia de peso, producen pérdidas superiores a un 20% en comparación a utilizar el índice sin restricciones (Cuadro 24). Debido a las complicaciones propias para la construcción de un índice de selección; usar tasa de crecimiento como único criterio de selección podría ser una eficaz alternativa.

El mejoramiento anual de PN y TC por selección individual es pequeño debido a que en condiciones de pastoreo extensivo el valor fenotípico de los individuos está influido fuertemente por componentes ambientales que no son heredables (Winder *et al.*, 1990; Snyman *et al.*, 1995). De acuerdo a los resultados obtenidos por Lasslo *et al.* (1985a) en ovinos seleccionados a los 120 d por un período de 20 años, obtuvieron un aumento en este carácter en la progenie de animales seleccionados en relación a al predio control. Esta

diferencia, sin embargo, no fue estadísticamente significativa. La principal razón se debió a fluctuaciones anuales en las condiciones medioambientales durante el período evaluado y al bajo índice de herencia realizado dada estas condiciones ($h^2:0,064\pm0,02$). Lo anterior es compartido por Rodríguez (2005), quién informa que la selección masal aplicada en ovinos Sugureños ha sido ineficaz en aumentar la tendencia genética para características de peso y crecimiento. Shresta *et al.* (1996), sin embargo, estimaron una ganancia genética anual favorable y significativa en ovinos en Canadá bajo condiciones de pastoreo. La selección en este caso, se efectuó por peso a los 91 d en un período de 20 años (1971-1990). Las ganancias obtenidas fueron para peso al nacer, peso a los 21, 70 y 90 días de 0,013; 0,021; 0,019 y 0,023 kg año⁻¹ en ovinos Suffolk; y 0,007; 0,008; 0,016 y 0,025 kg año⁻¹ en ovinos Finnsheep, respectivamente.

Comúnmente el ganado de carne manejado en condiciones extensivas está sujeto a situaciones cambiantes en la disponibilidad del alimento, por este motivo, puede que no se evidencie un incremento significativo en la tasa de crecimiento o peso al destete cuando se ha hecho selección por estas variables, aún cuando se haya estimado un superior valor de cría en los individuos elegidos como reproductores (Cloete *et al.*, 2003). A pesar de ello, la selección de igual forma podría traer como consecuencia un mayor PN en ovinos, ya que los requerimientos nutricionales durante la preñez no son tan altos como durante la lactancia; por tanto, el crecimiento fetal no estaría limitado fuertemente por las limitaciones de alimento que ocurren durante la fase de crecimiento en lactancia. (Lasslo *et al.*, 1985b).

Debido a la gran influencia materna en PN, TC y PD, la selección de reproductores podría ser más efectiva si se utilizara como criterio de selección el peso post destete o peso adulto, debido a que estas características poseen una menor influencia materna, y por este motivo los índices de herencia son más altos (Snyman *et al.*, 1995; Notter, 1997; Snowden y Van Vleck, 2003). La necesidad de seleccionar animales a edades más tempranas, sin embargo, dificulta esta práctica (Lax *et al.*, 1979). Mavrogenis y Constantinou (1990) y Sakul *et al.* (1994) concuerdan que la selección por peso post destete incrementaría el peso adulto o a la madurez, lo que traería como consecuencia un aumento de los requerimientos energéticos de mantención. Por este motivo, recomiendan que la selección sea a edades más tempranas. A consecuencia de lo anterior, Rodríguez (2005) señala que en ovinos de carne se debe tratar de conseguir mejoras en los pesos y crecimiento sin aumentar el peso adulto. A pesar de ello, teóricamente, la selección por PN y TC traería como consecuencia respuestas correlacionadas sobre peso post destete y peso adulto debido a correlaciones genéticas positivas. Safari *et al.* (2005), señalan de acuerdo a una extensa revisión de literatura una r_G entre PN con peso post-destete y peso adulto de: 0,29 y 0,22, respectivamente y una r_G entre TC con peso post-destete y peso adulto son 0,19 y 0,74, respectivamente.

Waldron *et al.* (1990) informan que no hubo un mejoramiento estadísticamente significativo en la progenie de carneros Suffolk seleccionados por tasa de crecimiento post destete al destetarlos a los 60 días y luego evaluar los animales durante 63 días. Las características medidas en ese estudio fueron: peso al nacer, peso a los 60 y 120 d, incremento de peso a los 60 y 120 d, ganancia diaria de peso entre 60-120 d y características de carcasa. Los investigadores sugieren que la precisión en la predicción de los valores de cría en carneros es baja cuando el período de evaluación comienza a los dos meses de vida. Diferentes resultados fueron reportados por Shelton (1959), quien determinó una correlación de 0,18 en machos reproductores y su progenie evaluados para características de crecimiento. La edad de inicio del período de evaluación del trabajo llevado a cabo por Shelton (1959) fue de siete meses y el período de la prueba fue extenso (140 d). La diferencia señalada anteriormente entre el período de prueba de los ensayos de Shelton (1959) y Waldron *et al.* (1990), y el hecho que el peso y TC a mayores edades son más heredables explican la diferencia en la respuesta obtenida en ambos trabajos (Vesely y Sen, 1961; Vesely *et al.*, 1970; Olson *et al.*, 1976). En relación a evaluaciones genéticas en ovinos para carne, Rodríguez (2005), sugiere que los ganaderos debieran utilizar valores de cría obtenidos por la metodología BLUP que considera el comportamiento individual y familiar, lo que unido a una correcta dirección técnica en la toma de decisiones redundaría sin duda en un eficaz progreso genético, aún cuando exista pocos trabajos que lo demuestren empíricamente.

7.4.2 Merino Precoz

Índice sin restricciones. Por ser el Merino Precoz una raza doble propósito, además de PN y TC se incorporaron variables que evalúan el PVS y sus características a través del DF y LM. Para el cálculo de los índices de selección, se emplearon los parámetros genéticos y fenotípicos que se presentan a continuación en los Cuadros 25 y 26, los cuales fueron obtenidos de la literatura (índices de herencia, correlaciones genéticas y fenotípicas para características de la lana) y del análisis de varianza (GLM) según se describió en la sección de materiales y métodos (varianza fenotípica y correlación fenotípica entre PN y TC).

Cuadro 25. Índice de herencia (h^2), varianza (σ^2) y desviación estándar (σ) fenotípica y genética, ponderación económica relativa (a) de peso del vellón sucio (PVS), diámetro de fibra (DF), largo de mecha (LM), peso al nacer (PN) y tasa de crecimiento (TC) en ovinos Merino Precoz

	PVS (kg)	DF (μm)	LM (mm)	PN (kg)	TC (g día ⁻¹)
σ^2_P	0,30	3,31	293,8	0,52	1208,65
σ_P	0,54	1,82	17,14	0,72	34,77
h^2	0,38	0,57	0,48	0,19	0,17
σ_A	0,34	1,37	11,9	0,31	14,33
a^1	11,7	-1	0,0	8,4	1,02

(1) Se dividió el incremento neto marginal calculado por la característica de menor importancia (DF) para obtener las ponderaciones relativas.

Cuadro 26. 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) en ovinos Merino Precoz

	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 éstas con PN y TC se obtuvieron de los valores promedios que entrega la literatura.

La metodología se señala en materiales y métodos y los resultados parciales al realizar las operaciones, en el anexo 1.

En el Cuadro 27 se entregan los valores de los coeficientes de ponderación (b_i), el incremento obtenido en cada característica al aplicar una intensidad de selección igual a 1, el incremento genético económico ΔH a obtener por generación y la eficiencia esperada. Se muestra además similar información al usar un índice que considera PVS, DF, LM, PN y TC (I_{S1}). La eficiencia lograda con este índice se compara con otras tres opciones. La primera de ellas considera la eliminación de LM del índice manteniendo el resto de las características (I_{S2}); la segunda, elimina PVS (I_{S3}) y la tercera sólo considera antecedentes de PVS, TC y DF (I_{S4}). En el Cuadro se entregan además las eficiencias al seleccionar en forma directa sólo a favor de un carácter.

Dado que el LM en la esquila de borregas se encuentra dentro del rango requerido, y además las empresas que compran lana sucia no consideran el largo de mecha dentro de la

pauta de pago a no ser que éste sea inferior a 70 mm, se simuló la eficiencia de un índice sin esta variable. Esta simulación pareció importante dado que aumentar el LM no reporta un incremento económico al productor. Si se compara la eficiencia lograda con I_{S1} que considera las cinco características con I_{S2} que no incorpora LM, la pérdida en eficiencia es sólo de 3,24%. En relación a este punto Sivandian y Smith (1997), explican que la incorporación de una característica en un índice de selección siempre incrementa la respuesta a la selección. Basado en este supuesto, es esperable que se obtenga un menor ΔH cuando se elimina LM a pesar de su nula importancia económica. Smith (1983) agrega que la respuesta posible de obtener, varía y depende no sólo de la magnitud de la heredabilidad y la ponderación económica (ah^2) sino que también de las correlaciones (genéticas principalmente) que presenten la característica consideradas.

PVS es la segunda característica de mayor importancia económica. Se planteó la posibilidad de eliminarla del índice a pesar de su peso económico, dado que registrar los pesos de vellón durante la esquila es un proceso complejo. Es importante destacar que no incluir el PVS en el índice, sólo provoca una pérdida de eficiencia del 6,91% en relación al índice original. El resultado obtenido es posible explicarlo dado que las r_G entre PVS con LM y TC son positivas y favorables. Según la revisión de Safari *et al.* (2005), la r_G entre PVS con LM y TC son: 0,44 y 0,24, respectivamente. El registro del LM puede hacerse antes de la esquila y su medición no genera un costo adicional ya que se obtiene gratuitamente al evaluar el diámetro de fibra, por lo que su inclusión en el índice puede ser una interesante alternativa en planteles que comiencen con un plan de selección.

Se planteó también la posibilidad de sólo considerar PVS, DF y TC. Esta alternativa produce una pérdida de eficiencia de 14,18%, lo cual supera largamente a las dos opciones analizadas anteriormente. La eliminación de PN y LM del índice, reporta el mayor incremento en PVS en comparación a la utilización de los otros índices. Además, cuando se emplea I_{S4} , se obtendría el menor incremento en DF. Estos resultados sugieren que la selección a través de un índice que incorpora características de peso vivo y características de vellón, podrían limitar la respuesta favorable en PVS a pesar de una positiva y favorable correlación genética con peso vivo (Morris *et al.*, 1996).

Cuadro 27. Coeficientes de ponderación (b_i), ganancia genética (ΔG_i), mejoramiento genético económico (ΔH), eficiencia relativa y correlación entre el índice y valor genético económico (r_{IH}) obtenido al emplear distintos índices sin restricciones o a favor de una sólo característica en ovinos Merino Precoz

	I_{S1}	I_{S2}	I_{S3}	I_{S4}	Sólo PVS	Sólo DF	Sólo LM	Sólo PN	Sólo TC
b_{PVS}	2,902	4,301		5,619	1				
b_{DF}	-0,084	0,028	0,432	-0,359		1			
b_{LM}	0,133		-0,004				1		
b_{PN}	4,287	4,027	4,909					1	
b_{TC}	0,185	0,179	0,196	0,162					1
r_{IH}	0,48	0,47	0,45	0,44	0,27	-0,06	0,17	0,19	0,40
ΔPVS (kg)	0,1	0,10	0,05	0,11	0,21	-0,09	0,10	0,03	0,03
ΔPVS (%)	2,70	2,64	1,38	2,80	5,31	-2,34	2,63	0,79	0,85
ΔDF (μm)	0,15	0,16	0,18	0,06	0,31	-1,04	0,18	0,11	0,03
ΔDF (%)	0,65	0,68	0,77	0,25	1,28	-4,36	0,76	0,45	0,12
ΔLM (mm)	3,66				3,22	-1,70	8,23	0,26	0,83
ΔLM (%)	3,92				3,45	-1,83	8,81	0,28	0,89
ΔPN (kg)	0,09	0,09	0,10		0,04	-0,04	0,01	0,14	0,04
ΔPN (%)	2,09	2,11	2,32		0,95	-0,99	0,25	3,18	0,81
ΔTC (g/día ⁻¹)	6,19	5,95	6,17	5,66	2,12	-0,54	1,69	1,69	5,91
ΔTC (%)	2,07	1,99	2,06	1,89	0,71	-0,18	0,56	0,56	1,98
ΔH	8,13	7,87	7,57	6,98	4,61	-0,94	2,82	3,12	6,67
Eficiencia relativa	100	96,76	93,09	85,82	56,69	-11,53	34,72	38,40	82,08

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

La evolución del precio del kilo de cordero en feria se explicó cuando se analizó la raza Suffolk. En este caso, interesa retomar la importancia en el aumento de precio observada en 2010 y 2011, dado que el índice de selección que se construyó para esta raza, incorpora características distintas al peso vivo como son PVS, DF y LM. Los resultados obtenidos se ilustran en la Figura 4. Los precios pagados en 2010 y 2011 fueron 18,07 y 44,43% superiores al valor promedio considerado para el cálculo del índice, de mantenerse o incrementarse los precios pagados en feria el aumento de ΔH sería lineal y podría superar un 35%.

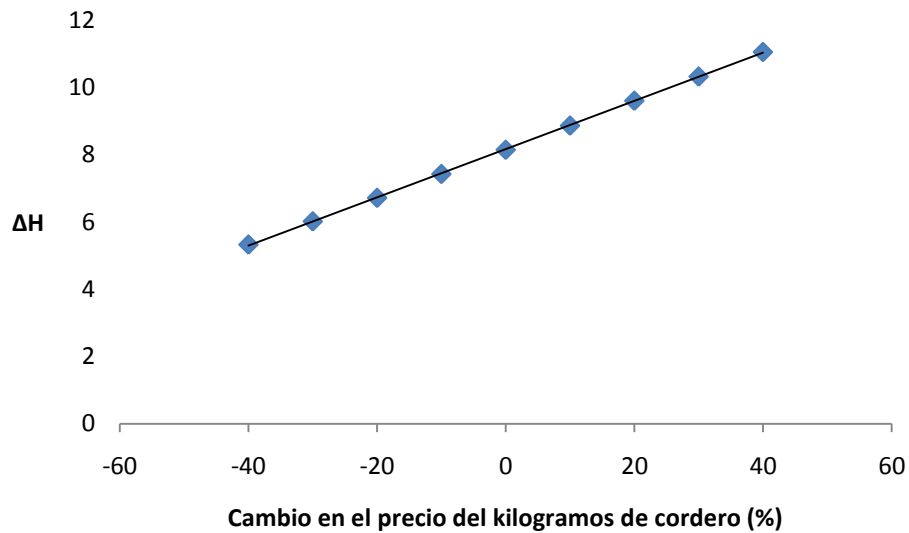


Figura 4. Cambio en la ganancia genética económica debido al valor del kilogramo de cordero pagado en feria

Para ovinos Merino y razas doble propósito se han realizado distintos trabajos de simulación para mejorar múltiples características a través de índices de selección (Valera *et al.*, 2009; Safari *et al.*, 2006; Mueller, 1985,1995; Lanari *et al.*, 1994; Fogarty y Gilmour, 1993; Shelton, 1959). Además, distintas experiencias como resultado de programas de selección genética para múltiples características han sido publicadas para ovinos Merino en Australia (Atkins, 1997; Taylor *et al.*, 2007 y Swan *et al.*, 2009), Argentina (Mueller, 1998, 2007; Sacchero y Mueller, 2007) y Sud África (Erasmus y Pettit, 1981; Olivier *et al.*, 1995). En estos países, la selección de animales se ha realizado para similares objetivos de selección; estos han sido aumentar el peso del vellón limpio (PVL), disminuir el diámetro de la fibra (DF) y aumentar el peso corporal de las borregas a los doce meses (PC). La metodología empleada ha sido selección individual y también a través de la metodología BLUP. Es importante señalar que estas evaluaciones se han realizado en núcleos genéticos, en los cuales el objetivo es producir reproductores de alto valor genético.

Este estudio permite anticipar que se podrían obtener mayores progresos genéticos en ovinos doble propósito por selección en relación a ovinos Suffolk, debido a que las características de vellón presentan una alta variabilidad genética y las correlaciones genéticas y fenotípicas, a pesar de ser desfavorables, son bajas con DF. Distintos trabajos de simulación (Safari *et al.*, 2006; Lanari *et al.*, 1994; Mueller, 1985, 1995; Fogarty y Gilmour, 1993) señalan que es posible aumentar el peso de vellón y características de crecimiento, y simultáneamente disminuir el diámetro; en este trabajo, sin embargo, no se esperaría una reducción del diámetro en ninguno de los índices propuestos (Cuadro 27). Lo

anterior se explica porque DF presenta la menor importancia económica estandarizada en comparación con PVS, PN y TC.

Diferentes ganancias fueron simuladas para peso de vellón y diámetro por Lanari *et al.* (1994). De acuerdo a este estudio, los investigadores estimaron que el peso del vellón limpio podría aumentar 65 g en una generación y el diámetro de fibra disminuir 0,31 micras en el mismo período ($i=1$). En la presente tesis, según los parámetros fenotípicos, genéticos y económicos usados, el PVS se espera que aumente 105 g y el DF en 0,154 micras. En otro trabajo de simulación, Mueller (1995) en ovinos doble propósito determinó que se esperaba un incremento de 75,4 g en PVL y -0,21 micras del DF en una generación por cada unidad de intensidad de selección. El mismo autor, proyectó en el año 2001 para ovinos Merino en la Patagonia Argentina que a consecuencia de programas de selección es factible obtener un aumento de 19,6% en peso del vellón y 12,3% en finura en 10 años de selección. Los autores anteriormente mencionados trabajaron en núcleos genéticos a través de selección individual y familiar.

Mueller (1998) señala que en Argentina el progreso efectivamente realizado después de 10 años de selección por PVL, DF y tamaño corporal ha sido de 190 g en el PVL (11%) y -0,9 micras (5%) en el diámetro de fibra. Estos resultados fueron muy similares a la ganancia predicha (184 g de PVL y -0,96 μm de DF). No hubo, sin embargo, respuesta a la selección, para peso corporal. El plantel fue estabilizado en 1984 y evaluado en 1995. En otro trabajo, Mueller (2007) publicó los resultados de un núcleo de ovinos Merino extra fina en el INTA, Pilcaniyeu en comparación a un predio control sin seleccionar en condiciones ambientales y de manejo similares. Los resultados señalan que luego de 10 años, se obtuvo un progreso en varias características importantes: 13% en peso al destete (27,5 v/s 24,3 kg); 17% en PVS (4,4 v/s 3,7 kg); -2,7% en DF (17,9 v/s 20,6 kg) sin cambio en el largo de mecha (99 mm). Por otra parte, Sacchero y Mueller (2007) evaluaron 326 ovejas adultas; 89 de ellas pertenecían al plantel que no se había seleccionado, mientras que las restantes pertenecían a la majada del mismo origen, pero sujeta a mejoramiento genético durante los últimos 20 años por peso de vellón, rendimiento al lavado, peso corporal al año de edad y diámetro de fibra. En este proyecto se observó una diferencia significativa en largo de mecha ($85,0 \pm 10,1$ mm v/s $82,6 \pm 7,91$ mm; $P < 0,05$). La majada no fue seleccionada por LM, la diferencia detectada en ambos grupos fue atribuida como respuesta correlacionada a la selección por mayor peso del vellón.

Los resultados de experiencias en Australia correspondientes al proyecto Trangie QPLUS\$ (Proyecto iniciado en 1992 y dirigido por NSW DPI⁵ y Australian Wool Innovation Ltd. para la raza Merino) son resumidos por Taylor *et al.* (2007). Los autores informan la

⁵Department Primary Industries, New South West Government.

respuesta obtenida en distintas líneas de ovinos Merino con aptitud de carne y lana a través del comportamiento individual y familiar. Los animales fueron seleccionados con distintos objetivos de cría, dependiendo de la importancia de la finura en relación al peso del vellón. La ponderación económica de DF se obtuvo como porcentaje del precio de vellón, los cuales fueron: 3, 8 y 15%. Cuando el objetivo de la selección fue aumentar el peso del vellón y disminuir el diámetro (8%), se obtuvo un incremento de 14 y 18% en el PVL y una disminución de 1,9 y 2 μm en el diámetro de fibra en borregas y ovejas, respectivamente. La selección comenzó en 1993 exclusivamente vía macho, y en el período 1998-2004, se realizó también selección en las hembras de reemplazo. En este proyecto, tanto las borregas como las ovejas adultas presentaron un mayor peso corporal (PC), a excepción de la línea que fue seleccionada para disminuir el diámetro sin perder peso (15%). A pesar del mayor PC, la ingesta de MS día^{-1} y el consumo por g de PV día^{-1} no sufrió una modificación estadísticamente significativa respecto del consumo del predio control. Por tal motivo, los autores sugieren que los animales seleccionados para tener un mayor peso de vellón, tienen a su vez una mayor eficiencia en el crecimiento y en la producción de vellón. Los resultados, sin embargo, no son comparables a los resultados de la presente tesis, ya que en ese proyecto se trabajó con la metodología BLUP y no únicamente con selección individual.

En el proyecto informado por Taylor *et al.* (2007), la correlación entre el índice y el valor de cría agregado fue 0,52. Este valor se encuentra dentro del rango esperado y fue superior a la estimada en el índice para ovinos Suffolk, dado principalmente por los mayores h^2 para las características de vellón (Falconer y Mackay, 1996). La correlación entre el índice y el valor de cría fue levemente superior a una simulación realizada por Lanari *et al.* (1994) y Mueller (1995) quienes calcularon un índice de selección para ovinos de la raza Merino Australiano ($r_{IH}=0,42$) y Corrediale ($r_{IH}=0,43$), respectivamente. En estos trabajos se incluyeron como características objetivo: peso del vellón limpio, diámetro de fibra, número de borregas para la venta y el peso de borregas. El criterio de selección incluyó: peso del vellón limpio, diámetro de fibra y el peso corporal de las borregas.

Selección directa. Como se observa en el Cuadro 27, en general se obtienen importantes pérdidas en eficiencia genético económico en relación al índice sin restricciones cuando la selección se realiza a favor de una sola característica. Como se esperaba, la selección por LM reporta una importante pérdida de eficiencia (65,28%) dado que esta variable no es relevante desde el punto de vista económico, y por consiguiente toda la ganancia económica se obtendría como respuesta correlacionada del PVS, DF, PN y TC. La mayor eficiencia se obtiene cuando el criterio de selección es la tasa de crecimiento nacimiento-destete (82,08%). Esto ocurre debido a la gran importancia económica de esta variable, su relación con PD y a la respuesta correlacionada obtenida en PN (0,81%) y también, a los

moderados efectos sobre características de vellón, a pesar que se espera un leve engrosamiento del diámetro (0,12%).

Como se observa en el Cuadro 27, el incremento en la TC sería $5,91 \text{ g día}^{-1}$ cuando se realiza selección directa por TC; este incremento es menor que cuando se utiliza el índice sin restricciones (I_{S1} , I_{S2} e I_{S3}). En estos casos, se obtendría un aumento de $6,19 \text{ g día}^{-1}$; $5,95 \text{ g día}^{-1}$ y $6,17 \text{ g día}^{-1}$, para los índices I_{S1} , I_{S2} e I_{S3} , respectivamente. Lo anterior se explica por las correlaciones fenotípicas y genéticas positivas entre TC con PVS y PN que potencia la respuesta en el incremento de peso al seleccionar por los respectivos índices.

En general, cuando se selecciona directamente por PVS, DF ó LM, se espera una mayor 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 27). La respuesta correlacionada que se espera a la selección por PN en TC es $1,69 \text{ g día}^{-1}$ (0,56%) y la selección por TC en PN es 35 g (0,81%). Estos resultados son congruentes a los encontrados por Morris *et al.* (1996), quienes señalan que existe una mayor respuesta correlacionada para características de vellón cuando se selecciona por este tipo de características, en comparación a la respuesta correlacionada que se obtiene en características de crecimiento, cuando se selecciona por peso o TC. La explicación a este fenómeno se debe a una mayor correlación genética entre características de vellón en comparación a la correlación genética entre características de crecimiento, debido a superiores índices de herencia de este grupo de variables.

La selección solo por PVS produciría un incremento de esta variable de 207 g por generación (5,31%). La respuesta correlacionada de LM (3,22 mm), de PN (41 g) y de TC ($2,12 \text{ g/día}^{-1}$), pero diámetro de fibra aumentaría desfavorablemente en 0,31 micras. Evaluaciones realizadas en Nueva Zelanda, reportan un incremento de 127 g (4,6%) por generación (1,71 % anual) cuando se selecciona sólo por PVS a la primera esquila (Morris *et al.*, 1996). Los investigadores midieron también la respuesta correlacionada en relación un predio control (reemplazos elegidos al azar). Los autores informan un incremento estadísticamente significativo para PN (1,05%), PD (1,6%), peso adulto (1,8%), DF (0,86%) y LM (1,4%) por cada generación ($L=2,7$ años, 9 generaciones evaluadas) para ovinos doble propósito Romney Marsh. Estos resultados demuestran que se puede obtener incrementos favorables en caracteres de interés cuando se selecciona por PVS, incluso para ganancia de peso, debido a la correlación genética positiva con peso al destete. Esta aseveración es compartida por Blair *et al.* (1985); Johnson (1982) y Clarke (1982) quienes concuerdan que la selección por PVS trae como consecuencia una fuerte respuesta en PVL, moderados incrementos en LM y DF y pequeñas respuestas en peso vivo, aunque no significativas para PN.

Cuando se selecciona a favor de finura, se espera que disminuya el DF en 1,04 micras (4,36%). En este caso como efecto indirecto todas las demás características sufrirían modificaciones desfavorables (PVS: -0,093 g; LM: -1,7 mm; PN:-0,043 Kg; TC: -0,54 g/día⁻¹). La disminución del DF por generación, estaría en concordancia con lo reportado por Mueller (2000) para esta variable, ya que una disminución entre 6,9 y 12,3% es un valor factible luego de 10 años. Una selección intensa para disminuir el DF, según Sherlock y Garrik (1995) produce una disminución de 0,36 $\mu\text{m}/\text{año}$, originando una alta calidad de la fibra con un pequeño descenso en peso del vellón. De todas las simulaciones realizadas, este esquema de selección sería el menos eficiente. La eficiencia relativa de la selección únicamente por DF, en comparación con el índice sin restricciones fue de -11,5%, lo que significa que esta alternativa no sólo es menos eficiente que el índice sin restricciones, sino que además, con este esquema el productor estaría perdiendo dinero dado el valor económico asignado a esta variable.

Índice con restricciones. Como se señala en el Cuadro 28, restringir el cambio en una o más características, la pérdida de eficiencia es mayor en la medida que se restringe un mayor número de variables.

Cuadro 28. Pérdida de eficiencia en comparación al índice sin restricciones (I_{S1}) cuando se restringen 1, 2, 3 y 4 características simultáneamente

N° de características restringidas	1	2	3	4
Eficiencia relativa (%)	77,1	58,0	40,3	22,1

Los coeficientes de ponderación b_i y la correlación entre el índice y el valor de cría se presentan en el Cuadro 29. El incremento esperado de cada característica y la eficiencia relativa en el Cuadro 30. Como se observa en el Cuadro 30, la TC es la característica que al ser restringida provoca la mayor pérdida de eficiencia. Esto es esperable ya que es la variable de mayor importancia económica estandarizada. Cuando se restringe únicamente TC la eficiencia cae a 29,1%; en cambio la restricción promedio de las otras características reporta una eficiencia promedio de 89,1%. Cuando se restringen dos características, y una de ellas es TC, la eficiencia promedio se reduce a un 24,8%, sin embargo, cuando se restringen dos de cualquiera de las otras características, la eficiencia promedio se reduce sólo a un 80,6%.

Una tendencia similar ocurre al restringir tres y cuatro características. Cuando se reducen tres características incluyendo TC, la eficiencia genético económica en comparación al índice sin restricciones cae a un 19,1% y al no estar incluido solo a 72,2%. Por último,

cuando se restringen cuatro características al estar incluido TC, la eficiencia promedio cae a 11,7% y cuando no está incluida solo a 63,5%.

De las restantes características, la menor pérdida en eficiencia se produce cuando se restringe DF (98,9%) dado 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 por tanto que esta característica permanezca constante. La restricción de PN en cambio, es la que produce la mayor pérdida de eficiencia después de TC, aunque esta pérdida de eficiencia es leve en comparación a TC (19,1%).

Cuando se restringen dos características, la mayor eficiencia se obtiene cuando se restringen DF y LM (89,5%); cuando se restringen tres características, la menor pérdida se obtiene cuando se restringen todas las características relacionadas con la lana (84,2%). La eficiencia de esta opción, es muy similar a la posibilidad de seleccionar sólo por TC (82,1%).

Otro aspecto destacable, es que al restringir PVS o al hacerlo con PVS y DF, el incremento posible de lograr en TC es prácticamente el mismo al obtenido cuando se utiliza un índice sin restricciones (Cuadro 30).

Cuadro 29. Coeficientes de ponderación (b_i) y correlación entre el índice y el valor genético económico (r_{IH}) obtenido al utilizar un índice con y sin restricciones en ovinos Merino Precoz

Índice	Tipo de restricción	b_{PVS}	b_{DF}	b_{LM}	b_{PN}	b_{TC}	r_{IH}
I_S	Ninguna	2,902	-0,084	0,133	4,287	0,185	0,48
I_{PVS}	PVS	-3,916	-0,329	0,095	4,715	0,195	0,42
I_{DF}	DF	3,046	-0,748	0,133	4,007	0,185	0,48
I_{LM}	LM	2,568	-0,088	-0,072	4,169	0,177	0,43
I_{PN}	PN	4,409	-1,019	0,118	-2,175	0,143	0,39
I_{TC}	TC	4,127	-0,202	0,009	0,674	-0,027	0,14
$I_{PVS \ y \ DF}$	PVS y DF	-4,291	-0,077	0,093	4,846	0,195	0,42
$I_{PVS \ y \ LM}$	PVS y LM	-2,259	-0,265	-0,011	4,533	0,188	0,41
$I_{PVS \ y \ PN}$	PVS y PN	-1,200	-1,088	0,089	-0,973	0,156	0,34
$I_{PVS \ y \ TC}$	PVS y TC	0,369	-0,325	-0,003	1,161	1,161	0,07
$I_{DF \ y \ LM}$	DF y LM	2,641	-0,382	-0,066	4,048	0,177	0,43
$I_{DF \ y \ PN}$	DF y PN	4,419	-0,550	0,116	-2,500	0,139	0,39
$I_{DF \ y \ TC}$	DF y TC	4,163	-0,393	0,010	0,610	-0,026	0,14
$I_{LM \ y \ PN}$	LM y PN	4,006	-0,948	-0,055	-1,767	0,139	0,35
$I_{LM \ y \ TC}$	LM y TC	3,980	-0,197	-0,042	0,803	-0,020	0,13
$I_{PN \ y \ TC}$	PN y TC	4,358	-0,388	0,014	-0,428	-0,022	0,13
$I_{PVS, \ DF \ y \ LM}$	PVS, DF y LM	-2,602	-0,042	-0,011	4,650	0,188	0,41
$I_{PVS, \ DF \ y \ PN}$	PVS, DF y PN	-2,600	0,082	0,079	-1,491	0,151	0,32
$I_{PVS, \ DF \ y \ TC}$	PVS, DF y TC	-0,057	-0,037	-0,005	1,309	-0,007	0,06
$I_{PVS, \ LM \ y \ PN}$	PVS, LM y PN	0,362	-1,021	-0,011	-1,103	0,150	0,33
$I_{PVS, \ LM \ y \ TC}$	PVS, LM y TC	0,274	-0,330	0,004	1,158	-0,007	0,07
$I_{PVS, \ PN \ y \ TC}$	PVS, PN y TC	0,654	-0,472	0,001	0,261	-0,003	0,05
$I_{DF, \ LM \ y \ PN}$	DF, LM y PN	3,995	-0,215	-0,069	-2,244	0,133	0,34
$I_{DF, \ LM \ y \ TC}$	DF, LM y TC	4,006	-0,308	-0,040	0,762	-0,020	0,13
$I_{DF, \ PN \ y \ TC}$	DF, PN y TC	4,358	-0,377	0,014	-0,436	-0,022	0,13
$I_{LM, \ PN \ y \ TC}$	LM, PN y TC	4,221	-0,400	-0,040	-0,386	-0,014	0,12
$I_{PVS, \ DF, \ LM \ y \ PN}$	PVS, DF, LM y PN	-1,075	0,112	-0,017	-1,601	0,145	0,31
$I_{PVS, \ DF, \ LM \ y \ TC}$	PVS, DF, LM y TC	-0,168	-0,040	0,003	1,306	-0,007	0,06
$I_{PVS, \ DF, \ PN \ y \ TC}$	PVS, DF, PN y TC	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
$I_{PVS, \ LM, \ PN \ y \ TC}$	PVS, LM, PN y TC	0,633	-0,472	0,003	0,265	-0,003	0,05
$I_{DF, \ LM, \ PN \ y \ TC}$	DF, LM, PN y TC	4,217	-0,273	-0,043	-0,484	-0,013	0,12

Cuadro 30. Respuesta genética esperada en cada característica (ΔG_i) y eficiencia genético-económica (ΔH) al usar índices con y sin restricciones en ovinos Merino Precoz

Tipo de restricción	ΔPVS		ΔDF		ΔLM		ΔPN		ΔTC		ΔH	Eficiencia relativa (%)
	Kg	%	μm	%	Mm	%	Kg	%	g/día ⁻¹	%		
Ninguna	0,10	2,70	0,15	0,65	3,66	3,92	0,09	2,09	6,19	2,07	8,13	100,0
PVS	0,00	0,00	-0,06	-0,25	1,70	1,82	0,09	2,00	6,18	2,07	7,07	87,0
DF	0,09	2,41	0,00	0,00	3,47	3,72	0,08	1,89	6,15	2,06	8,04	98,9
LM	0,06	1,57	0,07	0,31	0,00	0,00	0,09	2,11	5,78	1,93	7,29	89,7
PN	0,10	2,54	-0,13	-0,55	3,78	4,05	0,00	0,00	5,20	1,74	6,58	80,9
TC	0,18	4,67	0,15	0,64	3,05	3,26	0,05	1,09	0,00	0,00	2,36	29,1
PVS y DF	0,00	0,00	0,00	0,00	1,69	1,81	0,09	2,08	6,19	2,07	7,06	86,8
PVS y LM	0,00	0,00	-0,05	-0,23	0,00	0,00	0,09	2,04	5,96	1,99	6,86	84,4
PVS y PN	0,00	0,00	-0,33	-1,38	1,98	2,12	0,00	0,00	5,37	1,80	5,79	71,2
PVS y TC	0,00	0,00	-0,43	-1,82	-0,69	-0,74	0,08	1,86	0,00	0,00	1,11	13,6
DF y LM	0,06	1,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	2,01	5,78	1,93	7,27	89,5
DF y PN	0,11	2,82	0,00	0,00	3,99	4,28	0,00	0,00	5,14	1,72	6,52	80,2
DF y TC	0,17	4,43	0,00	0,00	2,89	3,10	0,04	0,91	0,00	0,00	2,34	28,8
LM y PN	0,05	1,40	-0,22	-0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	4,89	1,64	5,84	71,8
LM y TC	0,15	3,97	0,09	0,39	0,00	0,00	0,05	1,28	0,00	0,00	2,17	26,7
PN y TC	0,19	4,84	-0,01	-0,04	3,49	3,73	0,00	0,00	0,00	0,00	2,21	27,1
PVS, DF y LM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	2,12	5,97	2,00	6,85	84,2
PVS, DF y PN	0,00	0,00	0,00	0,00	2,02	2,16	0,00	0,00	5,29	1,77	5,39	66,3
PVS, DF y TC	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,88	-0,95	0,12	2,73	0,00	0,00	0,99	12,2
PVS, LM y PN	0,00	0,00	-0,33	-1,39	0,00	0,00	0,00	0,00	5,13	1,72	5,56	68,3
PVS, LM y TC	0,00	0,00	-0,44	-1,84	0,00	0,00	0,08	1,83	0,00	0,00	1,10	13,5
PVS, PN y TC	0,00	0,00	-0,87	-3,67	-0,18	-0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	10,7
DF, LM y PN	0,07	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,77	1,60	5,67	69,8
DF, LM y TC	0,15	3,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	1,16	0,00	0,00	2,16	26,6
DF, PN y TC	0,19	4,86	0,00	0,00	3,50	3,75	0,00	0,00	0,00	0,00	2,21	27,1
LM, PN y TC	0,16	4,09	-0,11	-0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,97	24,2
Excepto TC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,07	1,70	5,16	63,5
Excepto PN	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	2,70	0,00	0,00	0,98	12,0
Excepto LM	0,00	0,00	0,00	0,00	1,24	1,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Excepto DF	0,00	0,00	-0,87	-3,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	10,7
Excepto PVS	0,17	4,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,95	24,0

A pesar de existir una correlación genética desfavorable entre PVS y PC con DF, existen evidencias experimentales en diversos países que demuestran la factibilidad de incrementar por selección el PVS y/o PC, sin modificar e incluso disminuir el DF en razas doble propósito y especializadas en producción de lana, Erasmus y Petir (1981) y Olivier *et al.* (1995) en Sud África; Mueller (2001) y Mueller y Bidinost (2005) en Argentina; Taylor *et al.* (2007) en Australia; y Cippesoni *et al.* (2008) en Uruguay, así lo demuestran. En todos estos proyectos se formaron núcleos y se utilizó la selección individual combinada con registros de parientes (BLUP).

7.4.3 Evaluación y proyección de los resultados obtenidos en programas de mejoramiento genético para ovinos manejados en condiciones extensivas

Los resultados presentados demuestran que tanto en ovinos Suffolk como en Merino Precoz la tasa de incremento de peso hasta el destete es la variable que más influye en el mejoramiento genético-económico (ΔH) al usar un índice de selección. Incluso la selección sólo a favor de TC mostraría una pérdida de eficiencia, en relación al índice sin restricciones, relativamente baja en ambos rubros. Se analiza a continuación las principales fortalezas y debilidades al hacer selección por esta característica.

La principal fortaleza del incremento de peso pre-destete como criterio de selección es que éste se exterioriza antes que los animales se vendan, y por supuesto mucho antes de que éstos se reproduzcan. La principal debilidad radica en que el índice de herencia es mediano a bajo. Se analizan a continuación las principales razones que explican la reducida magnitud del índice de herencia de TC.

De acuerdo a la revisión de literatura de Safari *et al.* (2005), el índice de herencia promedio de TC en razas de carne y doble propósito es 0,17, sin embargo, el índice de herencia para peso adulto en razas de lana, doble propósito y de carne son: $0,41 \pm 0,02$; $0,31 \pm 0,03$ y $0,30 \pm 0,03$, respectivamente. Para TC post-destete, en el mismo orden, los índices de herencia son: $0,33 \pm 0,02$; $0,29 \pm 0,03$ y $0,21 \pm 0,01$. La información entregada demuestra que los índices de herencia tenderían a ser mayores en razas de lana respecto a las de doble propósito, y de éstas últimas, en relación a las de carne. Otro aspecto importante es que los índices de herencia en el pre-destete, post-destete y del peso adulto muestra una tendencia similar a la observada en bovinos de carne. A continuación se entregan antecedentes que explican este fenómeno en bovinos de carne.

El crecimiento pre-destete en mamíferos se encuentra muy influido por la habilidad materna de sus madres. Otro factor importante a considerar es el que describe Frisch y Varcoe (1978). Los autores consideran que la expresión del crecimiento se encuentra influido por dos causas: el potencial de crecimiento y el nivel de adaptación a situaciones ambientales restrictivas. El primero gobernaría las tasas máximas de TC a la cual un animal

es capaz de crecer. El segundo, determinaría el porcentaje del máximo potencial de crecimiento que es posible de obtener en situaciones restrictivas. Los autores opinan que la selección de animales que reciben dietas de alta calidad consumida *ad libitum*, en ausencia de estrés ambiental, favorecería a aquellos de mayor apetito y tasa metabólica. Por otra parte, la selección hecha con alimentación uniformemente restringida favorecería a los individuos y razas de bajo apetito y tasa metabólica, pero incorporaría componentes relacionados con una mayor eficiencia de mantención y, posiblemente también, a una mayor eficacia para utilizar la energía metabolizable.

La selección por crecimiento en condiciones ambientales fluctuantes tendería, por consiguiente, a favorecer los animales con una alta tasa metabólica durante los períodos de abundancia, fenómeno que se revertiría durante las etapas de nutrición deficientes. Frisch y Varcoe (1978) opinan, en consecuencia, que en estos casos la respuesta a la selección sería más lenta que la esperada con un plano de nutrición uniforme. La importante diferencia entre años demuestra que este problema se encuentra plenamente vigente en explotaciones de tipo extensivo que usan la pradera natural de secano como única fuente de alimentación.

Por ser el índice de herencia de TC pre-destete mediano a bajo, 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, por tal motivo, el uso del modelo animal, para estimarlos, permitiría lograr ventajas importantes respecto a la selección individual (Rodríguez *et al.*, 2004). El principal problema en el uso de la metodología BLUP en esta especie es su manejo mayoritariamente extensivo, lo cual imposibilita conocer la paternidad de los corderos. Las medidas para solucionar este problema son analizadas posteriormente.

En ovinos doble propósito, la producción y calidad de la lana constituye un grupo de variables muy diferente a TC. La ventaja de este grupo de características en relación a TC y PN es que sus índices de herencia son sustancialmente superiores. Otra diferencia importante es que son características de expresión repetida a lo largo de la vida del animal, entonces, dado a que los índices de constancia son elevados, la selección individual considerando solo el primer registro es un buen estimador del comportamiento productivo futuro de éstos a lo largo de su vida (Okut *et al.*, 1999). La principal debilidad radica en que estas variables se exteriorizan después de que se ha vendido el mayor porcentaje de machos y un número importante de hembras. La selección, especialmente de los machos, es más práctico realizarla por selección familiar, donde la metodología BLUP, para estimar valores de cría, adquiere una importancia preponderante, pero en este caso, por razones distintas a las expuestas para tasa de crecimiento.

Con la finalidad de poder cuantificar el vellón y sus características a edades tempranas, experiencias realizadas en Australia concluyen que medir el PVS y DF a una edad de 10

meses de edad, entrega una buena predicción del comportamiento productivo futuro de los animales para estas características (índices de constancia de 50-70% para PVS y 60-85% para DF). Mediciones más tempranas a las anteriormente señaladas, entregan una estimación menos confiable del comportamiento productivo futuro de los animales (índices de constancia de 35-50% y 45-70% para PVS y DF, respectivamente (MacLeod, 2006). Esquilas tempranas, por tanto, tampoco entregan una real alternativa al productor, ya que como se mencionó anteriormente, los agricultores obtienen cerca del 80% de los ingresos brutos con la venta de animales al destete.

Los antecedentes entregados en la tesis son por tanto útiles para conocer la importancia relativa de cada característica en el aumento del ΔH al utilizar un índice de selección individual, pero su uso escapa a las posibilidades prácticas de implementarlo en los planteles ovinos comerciales medianos o pequeños. Una alternativa eficaz para seleccionar animales de carne y doble propósito sería la construcción de un índice que combine información individual para características de crecimiento y familiar para características de vellón, a través de un modelo animal utilizando la metodología BLUP.

Los problemas anteriormente planteados pueden tener solución mediante la formación de núcleos genéticos que trabajen con la metodología BLUP, especialmente para evaluar características de bajos índices de herencia. La ventaja del BLUP para características del vellón es menor que para características de crecimiento y peso vivo. En este caso, núcleos genéticos para los cuales su finalidad es la venta de reproductores, se podría recomendar aplicar un índice de selección individual. La implementación de núcleos para la industria ovina implicaría, como ocurre en países de ganaderías desarrolladas, que un pequeño porcentaje de la población, por lo general del orden del 1,5%, sería 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 los pequeños y medianos productores difícilmente pueden llegar a ser el motor del mejoramiento genético, por tanto la alternativa más viable para ellos debiera ser la compra de carnerillos mejorados en los planteles núcleos. Lo anterior, debido a que la toma de registros productivos y el conocimiento de la paternidad de los individuos, aumentaría sustancialmente el costo de producción, el cual solo podría amortizarse si el producto a vender es genética. Además, el tamaño mínimo que debería tener un núcleo es de 250 vientres para asegurar un tamaño efectivo de la población adecuado (Mueller, 1998b).

Según Mueller (1998b) a mayor tamaño del núcleo mayor es la probabilidad de éxito, debido a la deriva génica y consanguinidad. Según el autor, la probabilidad que un gen se fije por efecto del azar es mayor en núcleos pequeños y pueden dar origen a resultados más erráticos que los más grandes donde la probabilidad de fijación es muy baja. En definitiva,

en la medida que el número de animales aumenta en el núcleo, la probabilidad de mantener una variabilidad genética estable es mayor y por tanto también el potencial de mejoramiento. El segundo motivo que favorece el uso de un núcleo con más de 250 es impedir el incremento de la endogamia. La depresión de la productividad, como consecuencia de la endogamia, es especialmente importante en caracteres de bajos índices de herencia. Turner y Young (1969) estiman que por cada 10% de aumento en la endogamia, disminuiría un 20% el porcentaje de corderos al destete, 7% el peso corporal y 8% el peso del vellón.

Según Mueller (1998b), se pueden formar cooperativas con la finalidad de implementar un núcleo productor de carneros a partir de los mejores animales de los rebaños miembros. Estas cooperativas pueden estar integradas por pequeños y medianos productores. Los núcleos son abiertos y consideran que los mejores animales nacidos en niveles jerárquicamente inferiores, pueden superar a los peores animales del núcleo central. En estos casos, el núcleo se forma con el 10% de las mejores ovejas de cada productor, el cuál es manejado por un miembro del grupo. Todos los años los productores aportan con el 3% de sus mejores borregas para el reemplazo de ovejas viejas del núcleo, obteniendo a cambio carneritos por las borregas entregadas, este sistema contribuye a reducir la tasa de aumento de la endogamia. Este planteamiento señala que mediante la formación de cooperativas, los pequeños y medianos productores podrían también establecer planes de selección para lograr un importante mejoramiento genético.

La formación de núcleos genéticos en ovinos fue implementada por primera vez en Australia y se conoce con el nombre AMS (Sociedad Australiana de Merino). A partir de los años 70 se fueron creando cooperativas de 10 a 15 productores en otros países ovejeros. En 1974 se crea en Nueva Zelandia la Federación de Grupos de Cría Cooperativos con 25 grupos inscritos (Rae, 1976). En 1980 el 20% de las ovejas de Nueva Zelanda fueron servidas por carneros de núcleos cooperativos y en 1980 más del 50% de éstos se encontraban registrados por las Asociaciones de Criadores (Turner y Parker, 1984). En la República de Sud África, la creación de estos núcleos también se expandió rápidamente a partir de 1971.

CONCLUSIONES

1. La variación fenotípica observada en el rebaño experimental para PN es similar a la informada en la literatura, sin embargo, la de TC es inferior. La variabilidad fenotípica de PVS se encuentra en el rango inferior de lo informado por la literatura, en cambio para LM es superior y para DF similar.
2. Las r_p entre PN y TC son bajas en ambas razas y coinciden con los resultados informados en la literatura, aún cuando existe un amplio rango en los resultados publicados.
3. En ambas razas, la TC es la característica de mayor importancia económica. Para razas doble propósito, le siguen en orden descendente: PVS, PN y DF. Por otra parte el LM, no representa importancia económica para los productores ovinos.
4. La selección directa por una sola característica sólo puede recomendarse al considerar TC, ya que al usar otros criterios de selección, el ΔH esperado se reduce en gran magnitud. En tanto, la selección individual por PVS, DF y LM, no podría practicarse en plantales comerciales, ya que los animales se venden antes que exterioricen estas características.
5. En el índice de selección calculado para la raza de carne el incremento en el índice de herencia produce un aumento lineal en el valor de ΔH . Lo mismo ocurre con la r_G , sin embargo, en este caso la magnitud del cambio es inferior.
6. El cambio de la ponderación económica de la tasa de crecimiento no es importante en el índice de selección calculado para las razas de carne, en cambio, en las razas de doble propósito, donde además se incorporan características de vellón, el cambio de la ponderación económica de TC provoca cambios con una tendencia lineal en ΔH .
7. Es factible mejorar genéticamente características de peso y crecimiento en ambas razas a través de selección individual, sin embargo, el incremento esperado es pequeño en condiciones extensivas debido al bajo índice de herencia en las características de PN y TC.
8. El momento en la vida del animal en que se expresan las características de interés obliga a formar núcleos donde sea posible controlar el registro de producción de las características que se incluyen en el índice de selección.

BIBLIOGRAFÍA

- ABDULKHALIQ, A.M., W.R. HARVEY and C.F. PARKER. 1989. Genetic parameters for ewe productivity traits in the Columbia, Suffolk and Targhee breeds. *Journal of Animal Science* 67: 3250-3257.
- AKHTAR, P., Z. AHMAD, G. MOHIUDDIN and S. ALI. 2001. Environmental factors affecting pre-weaning growth traits of Hissardale sheep in Pakistan. *Pakistan Veterinary Journal*, 21 (1): 17-21.
- ÁLVAREZ, M., R.M. RODRÍGUEZ IGLESIAS, J. GRACÍA VINENT, H., GIORGETTI and M. BASELGA. 2010. Introduction of meat sheep breeds in extensive systems of Patagonia: lamb growth and survival. *Journal of Animal Science* 88: 1256-1266.
- ATKINS, K.D. 1997. Genetic improvement of wool production. In Piper, L. and Ruvinsky A. (Eds). *The genetics of sheep*. CAB International, p 471-504.
- BIANCHI, G. 2006. Alternativas tecnológicas para la producción de carne ovina de calidad en sistemas pastoriles. Editorial Hemisferio Sur. 283 p.
- BIANCHI, G y G. GARIBOTTO. 2002. Influencia del sexo y del largo de lactancia sobre características de crecimiento, composición de la canal y calidad de carne de corderos. Montevideo, Uruguay. *Producción ovina* 15: 71:92.
- BIANCHI, G., G. GARIBOTTO y O. BETANCUR. 2003. Efecto del sexo y del largo de lactación sobre el desempeño de corderos Corriedale pesados. En: III Congreso Latinoamericano de Especialista en Pequeños Rumiante y Camélidos Sudamericanos. Viña del Mar, Chile p: 7-9.
- BANEH, H and S. H. HAFEZIAN. 2009. Effects of environmental factors on growth traits in Ghezel sheep. *African Journal of Biotechnology* 8 (12): 2903-2907.
- BLAIR, H. T., D.J. GARRICK, A.L. RAE and G.A., WICKHAM. 1985. Selection responses in New Zealand Romney sheep. 2. Selection for yearling greasy fleece weight. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 28: 257-264.
- BORG, R.C., D.R. NOTTER, R.W. KOTT, and L.A. KUEHN. 2007. Breeding objectives for Targhee. *Journal of Animal Science* 85:2815-2829.
- BOWER, K.M. 2000. Analysis of Variance (ANOVA) Using MINITAB Scientific Computing & Instrumentation 17 (3): 64-65.

- BROMLEY, C.M., G.D. SNOWDER and L.D. VAN VLECK. 2000. Genetic parameters among weight, prolificacy, and wool traits of Columbia, Polypay, Rambouillet, and Targhee sheep. *Journal of Animal Science* 78: 846-858.
- BROWN, D.J., B. TIER, A. REVERTER, A. BALL and R. BANKS. 2001. Genetic parameters for liveweight, wool growth and litter size and the associations among these traits in Corriedale sheep. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Genet.* 14: 199-122.
- CARDELLINO y PONOZONI. 1985. Definición de objetivos de mejoramiento genético e índices de selección en lanares. II Seminario Técnico de Producción Ovino, Salto 1-3 de agosto. Secretariado Uruguayo de la lana, 65-88 pp.
- CARDELLINO R. y J. ROVIRA. 1995. Mejoramiento genético animal. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur, 260 pp.
- CAVIEDES, E. y D. CONTRERAS. 1986. Recursos forrajeros utilizados en producción ovina. pp. 56-79. En: García, G. (Ed). Producción ovina. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago, Chile. 344p
- CIAPPESONI, G., F. MONTOSI, I. DE BARBIERI, D. GIMENO Y E I. AGUILAR. 2008. Impacto de un Núcleo de selección en la mejora genética de la raza Merino en Uruguay. 13° Congreso Latinoamericano de genética y VI Congreso Peruano de Genética 4-8 de mayo, Lima-Perú. 1-6 p.
- CLOETE, S.W.P., A.J. SCHOLTZ and B.B. AUCAMP. 1998a. Environmental effects, heritability estimates and genetic trends in a Western Cape Dohne Merino nucleus flock. *South African Journal of Animal Science* 28: 185-195.
- CLOETE, S.W.P., J.J. OLIVIER, M.A. SNYMAN and E. DU TOIT. 1998b. Genetic parameters and trends in a selection experiment for increased clean fleece weight involving South African Merinos. *Aust. J. Exp. Agric.* 38: 427-432.
- CLOETE, S.W.P, A.J. SCHOLTZ, A.R. GILMOUR AND J.J. OLIVIER. 2002. Genetic and environmental effects on lambing and neonatal behaviour of Dormer and SA Mutton Merino lambs. *Livestock Production Science* 78: 183-193.
- CLOETE, S.W.P; J.J. OLIVIER, J.B. VAN WYK, G.J. ERASMUS and S.J. SCHOEMAN. 2003. Genetic parameters and trends for birth weight, birth coat score and weaning weight in Merino lines divergently selected for ewe multiple rearing ability. *South African Journal of Animal Science*, 33 (4) 248:256.

- CLOETE, S.W.P., J.J., OLIVIER, J.B. VAN WYK, S.J., SCHOEMAN and G.J. ERASMUS. 2005. Genetic parameters and trends for hogget traits in Merino lines divergently selected for multiple rearing ability. *Proc. Assoc. Advtm. Animal Breeding Genetic* 16: 24-27.
- COELLI, K.A., A.R. GILMOUR and K.D. ATKINS. 1998. Comparison of genetic covariance models for annual measurements of fleece weight and fibre diameter. *Proceeding. 6 th World Congress. Genetic. Appliaded. Livestock Production* 24: 31-34.
- CONINGTON, J., S.C. BISHOP, B. GRUNDY, A. WATERHOUSE and G. SIMM. 2001. Multi-trait selection indexes for sustainable UK hill sheep production. *Journal of Animal Science* 73:413-423.
- CONINGTON J., S. C.BISHOP, A. WATERHOUSE and G. SIMM. 2004. A bioeconomic approach to derive economic values for pasture-based sheep in genetic improvement programs. *Journal of Animal Science* 82:1290-1304.
- CRUZ COLÍN, L., F. ROMERO, O. TERÁN., G. GARCÍA y V. VEGA. 2003. Prueba de comportamiento en ovinos: una metodología para mejorar el rebaño. INIFAP. Folleto Técnico N°1, diciembre 2003. 52 p.
- CUNNINGHAM E.P., R.A. MOEN Y T. GJEDREM. 1970. Restriction of selection indexes. *Biometrics* 26 (1): 67-74.
- DAZA, A. 1997. Reproducción y Sistemas de Explotación del ganado ovino. Ed. Mundi Prensa. 384 pp.
- DE LA JARA, A., V. MARTÍNEZ, P. SAPUNAR y N. BARRÍA. 1996. Estimaciones de ponderadores económicos para la raza Corriedale en Magallanes. Universidad Nacional de Chile, 3 p.
- DENNEY G.D., K.J. THORNBERRY and A.J. WILLIAMS. 1986. Effect of pre-weaning environment on the wool production and liveweight of Merino sheep in *Proceedings of the Australian Society of Animal Production* 16: 183-186.
- DICKERSON-URDANETA, L., G. TORRES-HERNÁNDEZ, R. DÁUBETERRE y O. GARCÍA. 2004. Crecimiento de ovinos West Agrican bajo un sistema de pastoreo restringido en Venezuela. *Rev. Fac. Agron.* 21: 59-67.
- DIXIT, S. P., J. S. DHILON and D. SING. 2001. Genetic and nongenetic parameter estimates for growth traits of Bharat Merino lambs. *Small Ruminant Research* 42:101-104.

- DZAMA, K., J.P. WALTER, F. RUVUNA, J.O. SANDERS and M. CHIMOYO. 2001. Index selection of beef cattle for growth and milk production using computer simulation modelling. *South African Journal Animal Science* 31: 65–75.
- ERASMUS G.J., and C.V. 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]
- FALCONER, D.S. and T.F.C. MACKAY. 1996. *Introduction to quantitative genetics* (4th ed), Logman Group. 464 p.
- FERNÁNDEZ, G., B. MERNIES, C. SILVEIRA y F. MACEDO. 2010. Guía teórico- práctica de Mejora Genética. Curso de Mejora Genética Área VII. Oficina de Publicaciones de la Facultad de Veterinaria. 85 pp.
- FOGARTY N.M. and A.R. GILMOUR. 1993. Sensitivity of breeding objectives to prices and genetic parameters in Australian and Polwarth dual purpose sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 33 (3): 259-268.
- FOGARTY, N.M. 1995. Genetic parameters for live weight, fat and muscle measurements, wool production and reproduction in sheep: a review. *Animal Breeding Abstract* 63: 101–143.
- FOURIE A.J. and H.J. HEYDENRYCH. 1982. Phenotypic and genetic aspects of production in the Dohne Merino 1. The influence of non-genetic factors on production traits. *South African Journal of Animal Science* 12: 57-60.
- FRISH, J.E. and J.E. VERCOE. 1978. Genotype-environment interaction in growth of cattle. Their occurrence, explanation and use the genetic improvement of growth. IV Conferencia Mundial de Producción Animal. Buenos Aires, agosto. pp 20-26
- GARCÍA, G. 1986. Características de las razas ovinas criadas en Chile. pp 9-21. En: García, G. (Ed.) *Producción ovina*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Santiago, Chile. 344 p.
- GARCÍA, G., S. DÍAZ, J. SAINI, J. ROJAS, M. RECALDE y H. SOTO. 1993. Un sistema semi intensivo de producción para ovinos en el secano interior de la zona central. *Simiente* 63 (3): 137-145
- GARCÍA, X., A. MANSILLA., y G. GARCÍA. 1980. Influencia de algunos factores ambientales sobre la producción ovina. *Avances en Producción Animal*. 5(1): 3-13.

- GARCÍA, X. y J.A. GALLARDO. 2005. Predictores del valor de cría: índices de selección y metodología de los modelos mixtos. Publicación Docente N°17. Departamento de Producción Animal. Fac. de Cs. Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. 164 p.
- GHAFOURI-KESBI, F., M. ESKANDARINASAB and A. HASSANABADI. 2009. Short-term selection for yearling weight in a small experimental Iranian Afshari sheep flock. *Canadian Journal of Animal Science* 89 (3): 301-307.
- GIVENS, C.S., R.C. CARTER and J.A. GAINES. 1960. Selection indexes for weanling traits in spring lambs. *Journal of Animal Sciences* 19: 134-139.
- GIZAW, S., S. LEMMA, H. KOMEN and J.A.M. VAN ARENDONK. 2007. Estimation of genetic parameters and genetic trends for weight and fleece traits in Menz sheep. *Small Ruminant Research* 70 (2): 145-153.
- GREEFF, J.C., R.P., LEWER, R.W., PONZONI and I.W. PURVIS. 1995. Staple strength: progress towards elucidating its place in Merino breeding. *Proc. Australian Association. Animal Breeding Genetic* 11: 595-601.
- GREEFF, J., R. DAVIDSON and J. SKERRIT. 2003. Genetic relationships between carcass quality and wool production traits in Australian Merino rams. *Proc. of. The. Ass. For. The. Adv. Of. Anim. Breed. and Genet.* 15: 330-333.
- HANFORD K.J., L. D. VAN VLECK and G. D. SNOWDER. 2002. Estimates of genetic parameters and genetic change for reproduction, weight, and wool characteristics of Columbia sheep *Journal Animal Science* 80:3086-3098.
- HANFORD K.J., L. D. VAN VLECK and G. D. SNOWDER. 2006. Estimates of genetic parameters and genetic change for reproduction, weight, and wool characteristics of Targhee sheep. *Journal of Animal Science* 2003. 81:630-640.
- HANFORD K.J., L.D. VAN VLECK and G.D. SNOWDER. 2005. Estimates of genetic parameters and genetic change for reproduction, weight, and wool characteristics of Rambouillet sheep *Small Ruminant Research* 57: 175-186.
- HARVEY, W.R. 1990. User's guide for LSMLMW and MIXMDL. PC-2 version. Mixed Model Least-Squares and Maximum Likelihood Computer Program. Columbus, Ohio. 91 p.
- HARVILLE D.A., 1975. Index selection with proportionality constraints. *Biometrics* 31: 223-225.
- HAZEL, L. N. 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics* 28: 476-490.

- HAZEL, L.N. and C.E. TERRILL. 1946. Effects of some environmental factors on weanling traits of range Rambouillet lambs. *Journal of Animal Science* 4:331-34.
- HEYDENRYCHH, H.J. 1975.'n Studie van kuddestatistieke nie-genetiese faktore, genetiese parameters en seleksievordedngm et betrekking tot die Tygerhoek Merinokudde P.h.D. treatise Univ. Stellenbosch.
- HOGSETT, M. L. and A. W. NORDSKOG, 1958. Genetic-economic value in selecting for egg production rate, body weight and egg weight. *Poultry Science*. 37:1404–1419.
- JAMES, J. W. 1968. Index selection with restrictions. *Biometrics* 24: 1015-1018.
- JANSSENS, S and W. VANDEPITTE. 2004. Genetic parameter for body measurements and linear type trait in Belgian Blue du Maine, Suffolk and Texel sheep. *Small Ruminant Research* 54: 13-24.
- JURADO J.J., A. ALONSO and R. ALENDA. 1994. Selection response for growth in a Spanish Merino flock *Journal of Animal Science* 72:1433-1440.
- KAHI, A.K. and H. HIROOKA. 2007. Effect of direct and indirect selection criteria for efficiency of gain on profitability of Japanese Black cattle selection strategies. *Journal of Animal Science* 85:2401-2412.
- KEMPTHORNE, O. and A.W. NORDSKOG. 1959. Restricted selection indexes. *Biometrics* 15: 10-19.
- KOBRICH, C., N. BARRÍA y P. SAPUNAR. 1992. Estimación de ponderadores económicos para un índice de selección de la raza Corriedale en Magallanes. *Avances en Producción Animal* 17(1-2): 123-126.
- KOCH R.M., K.E. GREGORY and L.V. CUNDIFF. 1974. Selection in beef cattle II Selection Response. *Journal of Animal Science* 39: 459-470.
- KUPROVÁ, Z.,M. ORAVCOVÁ, E. KRUPA and D. PEŠKOVICOVÁ. 2008. Methods for calculating economic weights of important traits in sheep. *Slovak Journal Animal Science*, 41:24-29.
- LANARI, M.R., E. TRONFI, y J.P., MUELLER. 1994. Revisión de índices de selección Provino para la raza Merino en la Argentina. INTA EEA Bariloche, Comunicación Técnica PA N°244. 5 p.

- LASSLO, L.L., G.E. BRADFORD, D.T. TORELL and B.W. KENNEDY. 1985a. Selection for weaning weight in Targhee sheep in two environments. I. Direct Response. *Journal of Animal Science* 61: 376-386.
- LASSLO, L.L., G.E. BRADFORD, D.T. TORELL and B.W. KENNEDY. 1985b. Selection for weaning weight in Targhee sheep in two environments. II. Correlated effects. *Journal of Animal Science* 61: 387-397.
- LAX, J., A.B. CHAPMAN, A.L. POPE, R.L. BAKER and B.P. BRADLEY. 1979. Comparison of single trait and index selection in sheep. *Journal of Animal Science* 48:776-788.
- LEE, J.W., D.F. WALDRON and L.D. VAN VLECK. 2000. Parameter estimates for greasy fleece weight of Rambouillet sheep at different ages. *Journal of Animal Science* 78: 2108-2112.
- LEGUIZA, H.D., E.P. CHAGRA, V. EGEA y J. COLOMER. 2007. Evaluación de pesos al nacimiento y ganancias de pesos hasta el destete en corderos Pampinta. En *Sitio Argentino de Producción Animal*. Disponible:
http://www.produccionbovina.com/produccion_ovina/produccion_ovina/136-Leguiza-Ovinos.pdf. [Fecha de consulta 10 marzo, 2012]
- LEWER, R.P., R.R. WOOLASTON and R.R. HOWE. 1994. Studies on Western Australian Merino sheep 2. Genetic and phenotypic parameter estimates for objectively measured traits on ram and ewe hoggets using different model types. *Australian Journal of Agricultural Research* 45: 829-840.
- MACEDO, R. y V. ARREDONDO. 2008. Efecto del sexo, tipo de nacimiento y lactancia sobre el crecimiento de ovinos Pelibuey en manejo intensivo. *Archivos de Zootecnia*, vol. 57: 219-228.
- MACLEOD, I. 2006. Selecting Merino on early wool measurements. Disponible en:
http://www.agric.wa.gov.au/PC_91882.html [Fecha de consulta: 28 de febrero 2012]
- MANIATIS, N. and G.E. POLLLOT. 2002. Maternal effects on weight and ultrasonically measured traits of lambs in a small closed Suffolk flock. *Small Ruminant Research* 45: 235-246.
- MANTEROLA H. 1986. Nutrición y producción ovina en p. 171-194. En García, G. (Ed.) *Producción ovina*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, Santiago, Chile. 344 p.
- MARIA G.A., K.G., BOLDMAN and L.D. VAN VLECK. 1993. Estimates of variances due to direct and maternal effects for growth traits of Romanov sheep. *Journal of Animal Science* 71: 845-849.

- MATEBESI-RANTHIMO, P.A. 2007. Genetic parameters for subjective and objective wool and body traits in the Tygerhoek Merino Flok. Thesis for Magister Scientiae Agriculturae. 199 p.
- MAVROGENIS, A.P. and A. CONSTANTINOU. 1990. Relationship between pre-weaning growth, post-weaning growth and mature body size in Chios sheep. *Animal Production* 50: 271-275.
- MELUCCI, L.M., A.N. BIRCHMEIR, E.P. CAPPA and J.C. CANTET. 2009. Bayesian analysis of selection for greater weaning weight while maintaining birth weight in beef cattle. *Journal of Animal Science* 87: 3089-3096.
- MOHAMMADI K., M.T. BEYGI NASSIRI, J. FAYAZI and H. ROSHANFEKR. 2010. Effects of environmental factors on pre-weaning growth traits in Zindi lambs. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 9 (5): 903-906.
- MONTALDO H.H., C. FLORES-SERRANO, Y. SULAIMAN y J. OSORIO-AVALOS. 2011. Crecimiento y comportamiento reproductivo de ovinos Poll Dorset y Suffolk bajo condiciones intensivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 2(4):359-369.
- MORAIS, O.R. and F.E. MADALENA. 2006. 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Belo Horizonte, MG, Brazil. August 13-18.
- MORTIMER, S.I. and K. ATKINS. 1989. Genetic evaluation of production traits between and within flocks of Merino sheep. I. Hoggets fleece weight, body weight and wool quality. *Australian Journal Agriculture Research* 40: 433-443.
- MORTIMER, S.I. and K. ATKINS, 1993. Genetic evaluation of production traits between and within flocks of Merino sheep 2. Component traits of the hogget fleece. *Australian Journal of Agricultural Research* 44: 1523-1539.
- MORRIS, C.A., D.L. JHONSON, R.M.W. SUMNER, G.K. HIGHT, J.L. DOBBIE, K.R. JONES, A.L. WRIGGLESWORTH and S.M. 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 Zealand Journal of Agricultural Research* 3(1): 95-106.
- MOUSA, E., L.D.VAN VLECK and K.A. LEYMASTER. 1999. Genetic parameters for growth traits for a composite terminal sire breed of sheep. *Journal of Animal Science* 77: 1659-1665.
- MUELLER, J.P. 1985. Implementación de planes de mejoramiento ovino. I Objetivos de mejoramiento y criterios de selección. INTA EEA Bariloche Comunicación Técnica PA6, 10 pp.

- MUELLER, J.P. 1987. Mejoramiento genético en la República Argentina: Situación actual, objetivos y estrategias de selección en ovinos. INTA EEA Bariloche Comunicación Técnica N° 320, p. 15.
- MUELLER, J.P. 1995. Procedimientos Provino para la raza Merino y para razas doble propósito. Zafra 1995/6. INTA EEA Bariloche Comunicación Técnica PA 293, 11 pp.
- MUELLER, J.P. 1998a. 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, 5 p.
- MUELLER, J.P. 1998b. Guía para el establecimiento de un núcleo genético abierto de producción de carneros. Comunicación Técnica INTA Bariloche N°328. 6 pp.
- MUELLER, J.P. 2000 Conferencia presentada al Tercer Congreso Lanero Argentino, Trelew, 9 y 10 de febrero. Comunicación Técnica INTA Bariloche Nro. PA 374, 7 p.
- MUELLER, J.P. 2001. Mejoramiento genético de las majadas patagónicas. Capítulo 10 p. 211-224. En Borrelli P y Oliva (Eds) Ganadería Ovina Sustentable en la Patagonia Austral-Tecnología de Manejo Extensivo. INTA Regional Patagonia Sur, 272 p.
- MUELLER, J.P. 2003. Evaluación genética de carneros Merino en centro de prueba de INTA-Pilcaniyeu y Rio Mayo. Informe 9. INTA-Asociación Argentina Criadores Merino, AACM. 23 p.
- MUELLER, J.P. 2007. Avances en el mejoramiento genético de ovinos en la Argentina. Revista de la Asociación Argentina Criadores de Merino (AACM)., año XIV, N° 51, 36 pp.
- MUELLER, JP. Y F. BIDINOST. 2005. Respuestas a la selección en Merino con diferentes procedimientos. Comunicación Técnica INTA Bariloche N° PA 473, 6 p.
- MUJICA F. 2005. Razas ovinas y caprinas en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias Osorno, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Boletín INIA N° 127, 88 p.
- NAIDOO, P and S.W.P., CLOETE. 2006. Genetic correlations between reproduction and wool traits in mature, reproducing merino ewes. Proc. 8th World Congress Genetic Applied Livestock Production p. 13-18.
- NESER FWC, G.J. ERASMUS and J.B. VAN WYK. 2001. Genetic parameter estimates for pre-weaning weight traits in Dorper sheep. Small Ruminant Research 40, 197-202.

- NICOL, A.M. and I.M., BROOKES. 2007. The metabolizable energy requirements of grazing livestock. Cap. 10. Pp 151-176. In: Rottary, P.V., Brookes, I.M. and Nicol, A.M. Pasture and supplements for grazing animals. Hamilton, New Zealand. 309 p.
- NOTTER, D.R. and J.D.HOUGH. 1997. Genetic parameter estimates for growth and fleece characteristics in Targhee sheep. *Journal of Animal Science* 75: 1729-1737.
- NOTTER, D.R., L.A., KUEHN and R.W., KOTT. 2007. Genetic analysis of fibre characteristics in adult Targhee ewes and their relationship to breeding value estimates derived from yearling fleeces. *Small Ruminant Research* 67: 164-172.
- OKUT, H., C.M., BROMLEY, L.D., VAN VLECK and D. SNOWDER. 1999. Genotypic expression at different ages: II. Wool traits of sheep. *Journal of Animal Science* 77:2366-2371.
- OLIVARES, A. 1996. Pradera natural en el secano de la zona central. Santiago, Chile, Universidad de Chile. Circular de Extensión N°22: 6-14.
- OLIVARES, A., M. JOHNSTON y X. CONTRERAS. 1998. Régimen pluviométrico del secano interior de la Región Metropolitana. *Avances en Producción Animal* 23:35-43.
- OLIVIER, J.J. and S.W.P. CLOETE. 2007. Genetic change in South African Merino studs participating in the Merino Plan. *Proc. Assoc. Advmt. Anim. Breed. Gen.* 17: 324-327.
- OLIVIER, J.J., G.J.,ERASMUS, J.B., VAN WYK and K.V., KONSTANTINOV. 1995. Response to selection on BLUP of breeding values in the Grootfontein Merino stud. *South African Journal of Anim. Science* 25: 13-15.
- OLSON, L. W., G.E., DICKERSON and H.A. GLIMP. 1976. Selection criteria for intensive market lamb production: Growth traits. *Journal of Animal Science* 43: 78-89.
- OVALLE, C. y F. SQUELLA. 1996. Terrenos de pastoreo con pastizales anuales en el área de influencia climática mediterránea. En I. Ruiz, ed., *Praderas para Chile*, 2a. edición. Santiago: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, p. 429-466
- OZCAN, M., B. EKIZ, A. VILMAZ, and A. CEYHAN. 2005. Genetic parameters for lamb growth traits and greasy fleece weight at first shearing in Turkish Merino Sheep. *Small Ruminant Research* 56: 215-222.
- OZDER, M., T. SEZENLER, A. REFIK and A., CEYHAN. 2009. Genetic and non-genetic parameter estimates for growth traits in Turkish Merino lambs. *Journal of Animal and Veterinarian Advances* 8 (9): 1729-1734.

- PETERS, H.F., S.B. SLEN AND HARGRAVE. 1961. An appraisal of selection in the Romnelet sheep. *Canadian Journal of Animal Science*. 41: 205-211.
- PITCHFORD W.S. and T.S. CH'ANG. 1990. Genetic and environmental effects on hogget wool production of various crosses between the Dorset Horn, Merino and Corriedale breeds of sheep. *Proc. Aust, Soc, Anim. Prod.* 18: 332-335.
- POLANCO, V. 2005. Efecto de la fecha de esquila sobre características de interés comercial en lana finas. Tesis de grado, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, p. 48.
- PONZONI, R. 1973. Aspectos modernos de la producción ovina. Segunda contribución. Universidad de la República, Uruguay. 166 p.
- PONZONI, R.W. 1992. Genetic improvement of hair sheep in the tropics. FAO animal production and health paper, N° 101. FAO, Rome. 168 p.
- RAE, A.L. 1976. The development of co-operative breeding schemes in New Zealand, *Proceedings International Sheep Breeding Congress*, 154-164.
- RASTOGI, R., W.J. BOYLAN, W.E. REMPEL and H.F. WINDELS. 1975. Lamb Performance and Combining Ability of Columbia, Suffolk and Targhee Breeds of Sheep. *Journal of Animal Science*, 41: 10-15.
- RAO, S. and D.R. NOTTER. 2000. Genetic analysis of litter size in Targhee, Suffolk, and Polypay sheep. *Journal of Animal Science* 78: 2113-2120.
- RHIND, S.M., J.J. ROBINSON and I. MCDONALD. 1980. Relationships among uterine and placental factors in prolific ewes and their relevance to variations in foetal weight. *Animal Production* 30: 115-124.
- ROBINSON, J.J., K.D. SINCLAIR and T.G. MCEVOY. 1999. Nutritional effects on foetal growth. *Animal Science* 68: 315-329.
- RODRIGUEZ, Z. M. 1959. Regiones naturales de Chile y su capacidad de uso. *Agricultura Técnica* 19-20:307-399
- RODRIGUEZ, J., J.V. DELGADO, J. QUIROZ y J.M. LEÓN. 2005. Evaluación de la tendencia genética en la raza ovina Sugureña bajo selección masal por características de crecimiento. IV Congreso Ibérico sobre Recursos Genéticos Animáis. Ponte de Lima, Portugal. p. 43.
- ROSHANFEKR, H., M. MAMOUEI, K. MOHAMMADI and E. RAHMATNEJAD. 2011. Estimation of genetic and environmental parameters affected pre-weaning traits of Arabi lambs. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 10(10): 1239-1243.

- RUMPH, J.M. and L.D. VAN VLECK. 2004. Age of dam adjustment factors for birth and weaning weight records of beef cattle: A review. *Genetics and molecular research* 3(1): 1-17.
- SACCHERO, D.M. y J.P. 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 (2): 49-61.
- SAFARI, E., N. M. FOGARTY and A.R. 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. M. FOGARTY y A.R. GILMOUR. 2006. Sensitivity of response of multi-trait index selection to changes in genetic correlations between production traits in sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46: 283-290.
- SAFARI, E., N.M. FOGARTY, A.R. GILMOUR, K.D. ATKINS, S.I. MORTIMER, A.A. SWAN, F. BRIEN, J.C. GREEFF and J.H.J. VAN DER WERF. 2007 Across population genetic parameters for wool, growth and reproduction in Australian Merino sheep 2. Estimates of heritability and variance components. *Australian Journal of Agricultural Research* 58(2): 177-184.
- SAKUL, H., G.E. BRADFORD, M.R. DALLY, T.R. FAMULA and C.M. FINLEY. 1994. Growth rate in sheep selected for weaning weight or litter size in a range environment. *Proc. 5th World Congr. Genet. Appl. Livest. Ontario. Canada.* 18: 59-62.
- SANTIBÁÑEZ, Q.F., y M.J. URIBE. 1990. Atlas Agroclimático de Chile. Regiones sexta, séptima, octava y novena. Laboratorio de Agroclimatología. Departamento de Ingeniería y Suelos. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago. p.
- SHELTON, M. 1959. Selection of fine-wool rams based on record of performance data. *Journal of Animal Science* 18: 925-930.
- SHERLOCK R.G. and D.J. GARRICK. 1995 Impact of breeding technologies on the genetic gain of a Merino flock. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 55: 278-280.
- SHRESTHA, J.N.B. and J.A. VESELY. 1986. Evaluation of established breeds of sheep in Canada for daily gain and body weights. *Canadian Journal of Animal Science* 66: 897-904.

- SHRESTHA, J.N.B, J.A., VESELY and J.P. CHESNAIS. 1985. Genetic and phenotypic parameters for daily gain and body weights in Suffolk lambs. *Canadian Journal of Animal Science* 65: 575-582.
- SHRESTHA, J.N.B., H.F. PETERS, D.P. HEANEY and L.D. VAN VLECK. 1996. Genetic trend over 20 years of selection in the three synthetic Arcotts, Suffolk and Finnish Landrace sheep breeds. 1. Early growth traits. *Canadian Journal Animal Science* 76: 23-34.
- SIDWELL, G. M. and L.R. MILLER. 1971. Production in some pure breeds of sheep and their crosses. II. Birth weights and weaning weights. *Journal of Animal Science* 32: 1090-1094
- SILVA, G.M, G. CASTELLARO, O.C. ALONSO y N.F. SQUELLA. 1987. Control heliotérmico, efecto del nitrógeno, la utilización y la humedad en el comportamiento de la pradera anua mediterránea. I Crecimiento y senescencia. *Avances en Producción Animal* 12 (1-2):11-25.
- SIVANDIAN, B. and C. SMITH. 1997. The effect of adding further traits in index selection. *Journal of Animal Science* 75: 2016-2023.
- SMITH, C. 1983. Effects of changes in economic weights on the efficiency of index selection. *Journal of Animal Science* 56: 1057-1064.
- SMITH, G.M. 1977. Factors affecting birth weight, dystocia and preweaning survival in sheep. *Journal of Animal Science* 44: 745-753.
- SNOWDER, G.D. and M. SHELTON. 1988. The relationship of lamb and wool production in range Rambouillet ewes. *Sheep Industry Development Program, Inc. research. J. 4 (3): 1-5.*
- SNOWDER, G.D. and L.D. VAN VLECK. 2003. Estimates of genetic parameters and selection strategies to improve the economic efficiency of postweaning growth in lambs. *Journal of Animal Science* 81:2704-2713
- SNYMAN, M.A., G.J. ERASMUS, J.B. VAN WYK and J.J. OLIVIER, J.J. 1995. Direct and maternal (co)variance components and heritability estimates for body weight at different ages and fleece traits in Afrino Sheep. *Livestock Production Science* 44: 229-235.
- SWAN, A.A., J. LAX and I.W. PURVIS. 1995. Genetic variation in objectively measured wool traits in CSIRO's fine wool flock. *Proc. Australian Association Animal Breeding Genetics* 11: 516-520.
- SWAN A.A, D.J., BROWN and R.G., BANKS. 2009. Genetic progress in the Australian sheep industry. *Proceedings of the Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics* 18: 326-329.

- SWANEPOEL, J.W., J.B., VAN WYK and G.J., DELPORT. 2006. A Genetic evaluation of the Dohne Merino breed in South Africa. M.Sc. thesis, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa. 58 p.
- TAYLOR, P., T. BIRD-GARDINER, K. ATKINS and S. MORTIMER. Reeping the Rewards of the QPLUS Project (EC919). NSW Department of Primary Industries Orange Agricultural Institute Trangie Agricultural Research Centre. Disponible en: <http://www.sheepgenetics.org.au/Document170/Q%20Plus%20Final%20Report.pdf>. [Fecha de consulta, 10 de enero, 2012].
- THRIFT, F.A., J.V. WHITEMAN and D.D., KRATZER. 1973. Genetic analysis of preweaning and postweaning lamb growth traits. *Journal of Animal Science* 36: 640-643.
- TOSH J.J. and R.A., KEMP. 1994. Estimation of variance components for lamb weights in three sheep populations. *Journal Animal Science*, 72: 1184-1190.
- TOSH, J.J. and J.W. WILTON. 2002. A terminal-sire index for selecting rams. *Canadian Journal of Animal Science* 82: 591-593.
- TURNER, R.W. and A.G.H. PARKER. 1984. New Zealand Group Breeding Schemes. *Proceedings First World Congress on Sheep and Beef Cattle Breeding*. Paper 19.
- TURNER, H.N. and S. YOUNG. 1969. *Quantitative genetic in sheep breeding*. Ed Mac Millan of Australia. 322 p.
- URIBE, H., F. SQUELLA, R. DE LA BARRA y M. MARTINEZ. 2011. Cuantificación del cambio genético para pesos al nacimiento y destete en ovinos Dorset y Texel. XXXVI Reunión Anual Sociedad Chilena de Producción Animal. 9 y 11 noviembre 2011. Punta Arenas, Chile p 7-8.
- VALERA, M., F. ARREBOLA, M. JUÁREZ and A. MOLINA. 2008. Genetic improvement of wool production in Spanish Merino sheep: genetic parameters and simulation of selection strategies. *Animal Production Science* 49(1): 43-47.
- VAN DER MERWE, C.A. 1976. *Genetiese en nie-genetiese faktore wat die produksie-eienskapper van die Elsenburgse Dormerskaap kudde beïnvloed*. Ph.D. treatise, Univ. Stellenbosch.
- VANRADEN, P. M. 2002. Selection of dairy cattle for lifetime profit. In: *Proceedings of the 7th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production* 29:127-130.
- VAN VLECK, L.D., G.D. SNOWDER and K.J. HANFORD. 2003. Models with cytoplasmic effects of birth, weaning, and fleece weights and litter size at birth for a population of Targee sheep. *Journal of Animal Science* 81: 61-67.

- VAN WYK, J.B., J.W. SWANEPOEL, G.J. DELPORT and S.W.P., CLOETE. 2006. Estimates of genetic parameters for yearling body weight and fleece traits in the South African Dohne Merino population. Proc. 8th World Congress Genetic Applied Livestock Production p. 13-18.
- VESELY, J. A. and S. B. SEN. 1961. Heritabilities of weaning weight, yearling weight, and clean fleece weight in range Romnelet sheep. Canadian Journal of Animal Science 41:109.
- VESELY, J.A., H.F. PETERS, S.B. SLEN and O.W. ROBISON. 1970. Heritabilities and genetic correlations in growth and wool traits of Rambouillet and Romnelet sheep. Journal of Animal Science 30:174.
- WALDRON, D.F., D.L. THOMAS, J.M. STOOKEY, T.G. NASH, F.K. KEITH AND R.L. FERNANDO. 1990. Central Ram Tests in the Midwestern United States: III. Relationship Between Sire's Central Test Performance and Progeny Performance. Journal of Animal Science 68:45-53.
- WHITELEY, K.J. 1994. The influence of wool fibre characteristics on processing and garment performance. In Azzarini M y Cardellino R (Eds) IV World Merino Conference, Montevideo Uruguay, SUL pp 209-227.
- WILLIS, M.B. 1998. Dalton's Introduction to Practical Animal Breeding. Fourth Edition Oxford: Bleckwell Science 159 p.
- WINDER, J.A.; J.J. BRINKS; R.M. BOURDON and B.L. GOLDEN. 1990. Genetic analysis of absolute growth measurements relative growth rate and restricted selection indices in red Angus cattle. Journal of Animal Science. 68 (2): 330-336.
- WULJI, T., K.G. DODDS, J.T.J. LAND, R. N. ANDREWS and P.R. TURNER. 2001. Selection for ultrafine Merino sheep in New Zealand: heritability, phenotypic and genetic correlations of live weight, fleece weight and wool characteristics in yearlings. Animal Science 72: 241-250.
- WALSH, B. and LYNCH, M. Theory of Index Selection. Genetics and Analysis of Quantitative Traits. 1997. 980 p.
- WOLFOVÁ, M., J. WOLF, Z. KRUPOVÁ and J. KICA. 2009. Estimation of economic values for traits of dairy sheep: I. Model development. Journal of Dairy Science. 92:2183-2194.
- WOLFOVÁ M, J. WOLF and M. MILERSKI. 2011. Calculating economic weights for sheep sire breeds used in different breeding systems Journal of Animal Science 89(6):1698-711.

- YÁÑEZ L. 2005. Índice de Selección: Sugerencias para su Utilización. En: Manual de Ganadería Doble Propósito. C. González-Stagnaro, E. Soto-Belloso (eds.). Edic. Astro Data S.A. Sección Genética II: 106–110.
- ZAMBRANO, A.C.R. 1997. Crecimiento predestete en corderos West African. Archivos. Latinoamericanos de Producción Animal 5 (Supl.1): 442-444.
- ZISHIRI, O.T., 2009. Genetic analyses of South African terminal sire sheep breeds. MSc thesis, Stellenbosch University, Republic of South Africa, 103 p.

Anexo I

Valores de las matrices varianzas-covarianzas fenotípicas y genéticas y de la matriz de ponderaciones económicas usadas en el cálculo de los índices de selección en las razas Suffolk y Merino Precoz

Según lo señalado en materiales y métodos los coeficientes de ponderación \mathbf{b}_i , se calcularon a través de la siguiente ecuación: $\mathbf{b} = \mathbf{P}^{-1} \cdot \mathbf{G} \cdot \mathbf{a}$, donde \mathbf{P} y \mathbf{G} son las matrices de varianzas y covarianzas fenotípicas y genéticas, respectivamente, \mathbf{a} la columna matriz de ponderaciones económicas y \mathbf{b} la columna matriz de los ponderadores para cada una de las características consideradas.

A pesar que los cálculos se hicieron con 8 decimales, por razones de espacio se presentan los valores a continuación sólo con dos decimales.

Suffok Down:

La estructura de las matrices \mathbf{P} , \mathbf{G} y \mathbf{a} se presentan a continuación:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \sigma_{P_{PN}}^2 & \text{Cov}_{P_{PN-TC}} \\ \text{Cov}_{P_{PN-TC}} & \sigma_{P_{TC}}^2 \end{bmatrix} \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} \sigma_{G_{PN}}^2 & \text{Cov}_{G_{PN-TC}} \\ \text{Cov}_{G_{PN-TC}} & \sigma_{G_{TC}}^2 \end{bmatrix} \quad \mathbf{a} = \begin{bmatrix} a_{PN} \\ a_{TC} \end{bmatrix}$$

Por lo tanto, el valor de cada matriz corresponde:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 0,58 & 3,09 \\ 3,09 & 1150,0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} 0,09 & 1,11 \\ 1,11 & 195,5 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{a} = \begin{bmatrix} 12,6 \\ 1 \end{bmatrix}$$

La obtención de los ponderadores \mathbf{b}_i , se obtuvo de la multiplicación de las siguientes matrices según se señaló anteriormente:

$$\mathbf{P}^{-1} = \begin{bmatrix} 1,74 & -0,01 \\ -0,01 & 0,00 \end{bmatrix} \mathbf{G} \cdot \mathbf{a} = \begin{bmatrix} 2,30 \\ 210,64 \end{bmatrix}$$

Merino Precoz

El procedimiento empleadas para el cálculo de los ponderadores \mathbf{b}_i en ovinos Merino Precoz es el mismo que se utilizó en el Suffolk, se presentan a continuación la estructura y valores de cada una de las matrices utilizadas

$$P = \begin{bmatrix} \sigma_{PPVS}^2 & \text{Cov}_{PPVS-DF} & \text{Cov}_{PPVS-LM} & \text{Cov}_{PPVS-PN} & \text{Cov}_{PPVS-TC} \\ \text{Cov}_{PPVS-DF} & \sigma_{PDF}^2 & \text{Cov}_{PDF-LM} & \text{Cov}_{PDF-PN} & \text{Cov}_{PDF-TC} \\ \text{Cov}_{PPVS-LM} & \text{Cov}_{PDF-LM} & \sigma_{PLM}^2 & \text{Cov}_{PLM-PN} & \text{Cov}_{PLM-TC} \\ \text{Cov}_{PPVS-PN} & \text{Cov}_{PDF-PN} & \text{Cov}_{PLM-PN} & \sigma_{PPN}^2 & \text{Cov}_{PPN-TC} \\ \text{Cov}_{PPVS-TC} & \text{Cov}_{PDF-TC} & \text{Cov}_{PLM-TC} & \text{Cov}_{PPN-TC} & \sigma_{PTC}^2 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} \sigma_{GPVS}^2 & \text{Cov}_{GPVS-DF} & \text{Cov}_{GPVS-LM} & \text{Cov}_{GPVS-PN} & \text{Cov}_{GPVS-TC} \\ \text{Cov}_{GPVS-DF} & \sigma_{GDF}^2 & \text{Cov}_{GDF-LM} & \text{Cov}_{GDF-PN} & \text{Cov}_{GDF-TC} \\ \text{Cov}_{GPVS-LM} & \text{Cov}_{GDF-LM} & \sigma_{GLM}^2 & \text{Cov}_{GLM-PN} & \text{Cov}_{GLM-TC} \\ \text{Cov}_{GPVS-PN} & \text{Cov}_{GDF-PN} & \text{Cov}_{GLM-PN} & \sigma_{GPN}^2 & \text{Cov}_{GPN-TC} \\ \text{Cov}_{GPVS-TC} & \text{Cov}_{GDF-TC} & \text{Cov}_{GLM-TC} & \text{Cov}_{GPN-TC} & \sigma_{GTC}^2 \end{bmatrix} a = \begin{bmatrix} a_{PVS} \\ a_{DF} \\ a_{LM} \\ a_{PN} \\ a_{TC} \end{bmatrix}$$

$$P = \begin{bmatrix} 0,31 & 0,31 & 3,04 & 0,10 & 4,82 \\ 0,31 & 3,31 & 5,92 & -0,07 & 3,16 \\ 3,04 & 5,92 & 293,8 & 0,0 & 5,96 \\ 0,1 & -0,07 & 0,0 & 0,52 & 0,0 \\ 4,82 & 3,16 & 5,96 & 0,0 & 1208,65 \end{bmatrix}$$

$$G = \begin{bmatrix} 0,12 & 0,17 & 1,79 & 0,02 & 1,18 \\ 0,17 & 1,88 & 3,10 & 0,08 & 0,98 \\ 1,79 & 3,10 & 141,02 & 0,19 & 28,94 \\ 0,02 & 0,08 & 0,19 & 0,1 & 1,21 \\ 1,18 & 0,98 & 28,94 & 1,21 & 205,47 \end{bmatrix} a = \begin{bmatrix} 12,8 \\ -1,00 \\ 0,0 \\ 9,2 \\ 1,1 \end{bmatrix}$$

$$P^{-1} = \begin{bmatrix} 4,60 & -0,36 & -0,04 & -0,94 & -0,02 \\ -0,36 & 0,34 & 0,00 & 0,11 & 0,00 \\ -0,04 & 0,00 & 0,00 & 0,01 & 0,00 \\ -0,94 & 0,11 & 0,01 & 2,14 & 0,01 \\ -0,02 & 0,00 & 0,00 & 0,01 & 0,00 \end{bmatrix} G \cdot a = \begin{bmatrix} 2,84 \\ 2,08 \\ 53,67 \\ 2,47 \\ 254,22 \end{bmatrix}$$

Para el cálculo de los índices con restricciones, la expresión que permite obtener los ponderadores y el significado de cada uno de ellos se explica en materiales y métodos. La matriz de identidad (**I**) necesaria para este procedimiento tiene un orden que depende del número de características usadas donde todos sus términos son cero, a excepción de la diagonal que tiene valores uno.

$$I(\text{Merino Precoz}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} I(\text{Suffolk Down}) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Anexo II

Procedimiento de cálculo para la estimación de ponderadores de ponderadores económicos en ovinos Suffolk y Merino Precoz

Peso del vellón sucio

En el Cuadro 31 se muestra el precio recibido por venta de lana (Kg) en la Estación Experimental de Rinconada, los valores están expresados en moneda correspondiente al mes de diciembre 2011.

Cuadro 31. Precios nominales y reales percibidos por venta de lana para el período 2008-2011

Año	Precio/Kg	Deflactado
2008	450	472
2009	650	697
2010	650	680
2011	1195	1202
Promedio		762,8

Diámetro de fibra

La ponderación económica del diámetro de fibra se calculó como la regresión entre diámetro y el precio del vellón (Kg) proveniente de los registros históricos del Servicio Nacional de Evaluación Genética de Reproductores Ovinos, Argentina. El precio promedio pagado por la venta de lana y el resultado de la regresión se presentan en los cuadros 32 y 33.

Cuadro 33. Precio promedio pagado en US dólares por kg de vellón sucio

FINURA (μm)	PVS (US\$/Kg)
19	2,5
20	2,1
21	1,9
22	1,8
25	1,5
27	1,3

Análisis de regresión:

- Variable independiente: Finura
- Variable dependiente: Precio del kilo de vellón sucio

Coeficientes

Parámetro	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Valor P
Intercepción	4,82253521	0,45239559	10,659996	0,0004386
Finura	-0,13309859	0,0200982	-6,62241297	0,00269645

Análisis de varianza

	GL	SC	CM	F	Valor P
Regresión	1	0,8385211	0,83852113	43,8563536	0,00269645
Residuos	4	0,0764788	0,01911972		
Total	5	0,915			

GL: grados de libertad. SC: suma de cuadrados. CM: Cuadrado medio. F: prueba estadística F.

El análisis de regresión realizado previamente está expresado en dólares americanos, por tanto, para expresar el valor correspondiente de la disminución de un micrón en pesos chilenos, se determinó el valor promedio del dólar para el año 2011

Cuadro 34. Precio promedio del dólar para el año 2011

Mes	Valor	Mes	Valor
Enero	471,3	Julio	511,7
Febrero	467,7	Agosto	508,4
Marzo	469,4	Septiembre	517,2
Abril	462,9	Octubre	511,7
Mayo	466,8	Noviembre	508,4
Junio	483,7	Diciembre	517,2
Promedio	491,4		

Fuente: SII

Tasa de crecimiento nacimiento-destete

Como se explicó en el capítulo correspondiente a materiales y métodos, se determinó el costo económico que implica aumentar un gramo en el incremento diario de peso. Este costo se determinó como el costo de arreglo del 10% de los cercos del predio más el costo en desmalezar. A continuación se detalla en el Cuadro 36 el costo de mantención de cercos por año por cada metro lineal.

Cuadro 35. Cálculo para el ítem arreglo de cercos

		C/IVA	S/ IVA	Total
Malla Ursus (100 mts) ¹			45000	45000,0
Postes (unidad) ²		1890	1530,9	52050,6
Grapas (100 gramos) ²		500	405	4050,0
Alambre de púa (100 metros) ²		13490	10926,9	10926,9
		Total mano de obra		
Costo mano de obra/día (\$)	5000	(\$)		17000,0
		TOTAL 100 metros		
Postes obrero/día	10	(\$)		129027,5
N° de postes cada 100 metros	34	TOTAL metro (\$)		1290,3

1.Intal Ltda ®. 2 Easy ®

En el Cuadro 36 se detalla los ítems requeridos para el cálculo del costo económico de cada kilo de materia, según la ecuación 12 mostrada en la sección de materiales y métodos.

Cuadro 36. Determinación del costo cada kilogramo de materia seca

Hectárea (m ²)	10.000,0
Superficie Rinconada	878,0
Superficie del campo (m ²)	8.780.000,0
Perímetro lineal (m)	17.778,6
Superficie anual (metros)	1.777,9
Arreglo de espinos (há)	341,7
Costo anual de mantención del predio (\$)	2.293.933,3
Costo de establecimiento	0,0
Costo de mantención (há)	2.954,4
N° de años de la pradera	20,0
Producción de materia seca/há	1.100,0
Producción de materia seca del campo	965.800,0
Costo Kg ms (\$)	2,7

Ponderación económica para peso al nacer

Dado que no se observó la misma variación fenotípica para peso al nacer y peso al destete en las dos razas analizadas, el cálculo de la ponderación económica de PN, de acuerdo a la ecuación 13 que se presentó en el capítulo de materiales y métodos se realizó en forma separada. Los resultados se muestran en los Cuadros 37 y 38 para la raza Suffolk y Merino Precoz, respectivamente. Las correlaciones fenotípicas entre PN y PD se realizaron con los datos corregidos.

Cuadro 37. Ponderación económica de peso al nacer en ovinos Suffolk

Correlación fenotípica r_P PN-PD	0,29
Desviación estándar (σ_{PN})	0,76
Desviación estándar (σ_{PD})	3,5
Regresión fenotípica (b_{PN-PD})	1,35
Ingreso extra (\$)	995,8
Consumo extra de kilos de MS	8,2
Costo extra por el consumo (\$)	22,1
Ingreso neto de cada Kg/PN(\$)	973,7

Cuadro 38. Ponderación económica de peso al nacer en ovinos Merino

Correlación fenotípica r_P PN-PD	0,18
Desviación estándar (σ_{PN})	0,72
Desviación estándar (σ_{PD})	3,1
Regresión fenotípica (b_{PN-PD})	0,8
Ingreso extra (\$)	564,0
Consumo extra de kilos de MS	4,7
Costo extra por el consumo (\$)	12,5
Ingreso neto de cada Kg/PN (\$)	551,5

Cuadro 39. Precios reales del kilo de cordero pagado en productor en feria para el período 1990-2011

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1990	866,8	930,2	902,6	918,4	1085,7	650,5	1119,4	1071,5	943,8	775,3	546,6	
1991	753,7	684,0	712,2	683,4	816,2	921,6	939,7	963,3	857,7	888,2	1033,6	
1992	998,0	941,0	921,6	934,7	1037,3	873,5	1179,9	976,2	1076,5			
1993	895,1	889,9	973,3	820,9	1080,7	969,7	1001,8	716,2	698,5			
1994	0,0	918,1	906,5	920,6	960,2	866,4	923,8	855,0	557,9	660,7	613,3	
1995		836,2	886,6	971,7	863,3	964,8	1052,8	823,4	679,4	734,0		
1996	888,0	900,7	813,8	903,4	957,2	882,2	933,9		729,2	576,0	340,3	644,2
1997	711,7	805,1	930,2	839,0	901,3	832,6	519,1	820,1	729,9	662,7	768,1	744,7
1998	741,6	815,6	675,5	744,9	925,3	959,7	799,4	418,4	811,6	620,2	670,4	
1999	678,7	666,5	757,6	633,2	707,2	777,5	845,3	695,7	992,5	689,2		521,9
2000		975,1	752,6	657,0	729,6	670,7	774,8	876,8	841,9	777,2	628,7	746,8
2001	600,1	825,6	733,7	825,8	870,0	932,1	962,5	775,2	848,9	697,4	722,6	801,9
2002	802,4	780,1	977,8	1031,2	1002,9	956,5	945,5	913,8	790,2	735,8	692,9	735,4
2003	748,8	761,5	864,2	850,8	967,9	977,8	941,2	949,3	949,5	731,5	720,0	716,6
2004	660,8	913,9	981,3					851,1	817,8	661,2	618,0	768,0
2005	753,2	621,9	615,3						844,5	706,5	722,5	734,5
2006		774,5	842,2	861,0	924,0	872,4	867,9	808,5	757,9	707,9	674,1	729,3
2007	827,3	701,4	812,9	896,5		993,6	953,8		1170,0	698,7	689,8	676,9
2008	567,9	574,4							1280,4	719,4		
2009									646,7	768,6	622,9	866,9
2010	685,8	962,9	782,3	543,0	633,9				1051,6	870,5	976,4	
2011										1064,9		1006,1
Promedio	716,5	813,9	833,8	825,6	903,9	881,3	922,5	834,3	860,8	737,3	690,0	745,6

Anexo III**Simulaciones realizadas**

Cuadro 40. Respuesta genético-económica al fluctuar el índice de herencia entre 0,08 y 0,32 de tasa de crecimiento en la raza Suffolk

h²	0,08	0,11	0,14	0,17	0,20	0,23	0,26	0,29	0,32
ΔH	3,75	4,68	5,64	6,63	7,63	8,63	9,65	10,66	11,68

Cuadro 41. Respuesta genético económica al fluctuar la correlación genética entre peso al nacer y tasa de crecimiento entre -0,2 y 0,50 en la raza Suffolk

ΔH	5,48	5,61	5,83	6,10	6,40	6,63	6,73	7,09	7,47
r_G	-0,20	-0,10	0,00	0,10	0,20	0,27	0,30	0,40	0,50

Cuadro 42. Respuesta genético-económica en la raza Merino Precoz al fluctuar el precio que se paga en feria por el kilogramo de cordero

ΔH	11,04	10,31	9,58	8,85	8,13	7,41	6,70	5,99	5,31
%cambio \$/kg/cordero	40	30	20	10	0	-10	-20	-30	-40

