

Recibido 02 de diciembre de 2015 // Aceptado 27 de abril de 2016 // Publicado online 23 de noviembre de 2016

Beneficio del progreso genético en ovinos de la Argentina

MUELLER, J.P.¹; VOZZI, P.A.²; GIOVANNINI, N.³; ÁLVAREZ, J.M.⁴

RESUMEN

Se analizó el beneficio económico del mejoramiento genético observado en plantales de las razas Merino Astado, Corriedale e Ideal que utilizan el servicio de evaluación genética Provino en Argentina. Con estadísticos poblacionales y parámetros reproductivos de sistemas de producción de referencia de cada raza se calculó el número de corderos descendientes de carneros producidos en los plantales. Usando metodologías de flujo génico se calcularon las expresiones genéticas de cada cordero a través de su vida útil y de la de sus descendientes. El beneficio de 10 años de mejora genética en los plantales, acumulado por 20 años en las majadas comerciales, y descontado a una tasa del 5% anual, resultó ser de 7,70, 0,93 y 0,12 millones de USD para las poblaciones Merino Astado, Corriedale e Ideal, respectivamente. Para las dos primeras razas se consideró una estructura de tres estratos y para la raza Ideal de dos estratos. Los análisis de sensibilidad indicaron que hay amplio margen para aumentar el beneficio económico en la cadena de valor ovina a través del mejoramiento genético en la Argentina. Para ello se deberían alentar políticas de promoción tanto del mejoramiento genético a nivel de los plantales como del aprovechamiento de carneros mejoradores.

Palabras clave: selección, estructura genética, Merino, Corriedale, Ideal, Provino.

ABSTRACT

The economic benefit of genetic improvement observed in stud flocks of the Horned Merino, Corriedale and Polwarth breeds using Provino, the Argentinean sheep genetic evaluation service, was analysed. With population statistics and reproduction parameters estimated from reference production systems of each breed, the number of stud ram progeny was calculated. Using gene flow methodology, genetic expressions were calculated for each lamb throughout his life and that of its descendants. The benefit of 10 years of genetic improvement in the stud flocks accumulated over 20 years in the general flocks and discounted at an annual rate of 5% turned out to be 7.70, 0.93 and 0.12 million USD for the Horned Merino, Corriedale and Polwarth populations, respectively. For the first two breeds a three tier structure was modelled and for the Polwarth breed a two tier structure was modelled. Sensitivity analysis indicated an ample scope to increase the economic benefit of genetic improvement in Argentina. Promotion policies for further genetic improvement in the stud flocks and increased dissemination of rams should be encouraged.

Keywords: selection, genetic structure, Merino, Corriedale, Polwarth, Provino.

¹INTA EEA Bariloche. Modesta Victoria 4450, San Carlos de Bariloche, (8400) Río Negro, Argentina.

Correo electrónico: mueller.joaquin@inta.gob.ar

²INTA EEA Chubut. 25 de Mayo 4870, Trelew, (9100) Chubut, Argentina. Correo electrónico: vozzi.alejandra@inta.gob.ar

³INTA EEA Bariloche. Modesta Victoria 4450, San Carlos de Bariloche, (8400) Río Negro, Argentina.

Correo electrónico: giovannini.nicolas@inta.gob.ar

⁴INTA EEA Valle Inferior. Ruta Nacional 3 km 971, Viedma, (8500) Río Negro, Argentina. Correo electrónico: alvarez.juan@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

El mejoramiento genético del ganado doméstico permite a sus productores aumentar ingresos y eventualmente reducir costos. En el caso de poblaciones estructuradas, como lo son los ovinos en la Argentina, el mejoramiento genético depende de unos pocos plantales que producen reproductores genéticamente superiores que luego diseminan las diferencias genéticas a majadas generales propias o de clientes. El potencial genético de producción de toda la población depende entonces de la efectividad del trabajo de selección en los plantales. En la Argentina varios plantales aprovechan el servicio nacional de evaluación genética de ovinos Provino para obtener estimaciones de mérito genético que se utilizan luego en el proceso de selección (Giovannini *et al.*, 2015). Provino, en su versión “Avanzado”, utiliza una metodología de predicción del mérito genético basada en modelos estadísticos mixtos que permiten comparar animales nacidos en diferentes años y plantales, por lo que también permiten el monitoreo del progreso genético en la población evaluada. Provino Avanzado es utilizado por plantales de las principales razas de ovinos desde hace varios años por lo que se conocen sus tasas de progreso genético (Provino, 2015).

La mejora genética en caracteres de importancia económica se traduce en ingresos económicos adicionales que se diseminan en toda la población que recibe genes de los plantales. El aporte económico producto del flujo de genes en la población puede ser muy importante (Amer *et al.*, 2007; Banks, 2000). En este trabajo se revisaron los progresos genéticos logrados en características de interés económico en los plantales de tres razas de ovinos en la Argentina (Merino, Corriedale e Ideal), se les adjudicó un valor económico y se estimó el beneficio económico del mejoramiento genético para la población comercial de esas razas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Modelo analítico

A los fines de convertir cambios genéticos en beneficios económicos es necesario hacer el seguimiento de los genes mejorados en la población cuantificando su dispersión en el tiempo. Hill (1974) y Elsen y Mocquot (1974) desarrollaron una metodología recursiva para describir el flujo de genes (gene flow) en el tiempo. La metodología facilita el análisis del progreso genético en poblaciones de generaciones superpuestas y su evaluación económica. FAO (2010) presentó un ejemplo de análisis del beneficio del mejoramiento genético en un sistema estructurado basado en hojas de cálculo. Amer *et al.* (2007) desarrollaron un modelo parametrizado que permite describir el flujo de genes en poblaciones estructuradas de ovinos y bovinos y lo aplicaron a caracteres de expresión directa y materna. Aquí se reduce el modelo de Amer *et al.* (2007) al caso de ovinos y se adapta para incluir caracteres de expresión repetida, como aquellos relacionados con esquilas anuales. Los símbolos de los parámetros usados en el modelo se eligieron para ser consistentes con los símbolos usados por Amer *et al.* (2007).

- **Progenie de carneros mejoradores:** se supone una población de ovejas correspondiente al conjunto de plantales de una raza que produce carneros mejoradores que son utilizados en majadas comerciales o “generales”. La cantidad de corderos con genes de esos carneros puede modelarse suponiendo que hay un total de c ovejas en los plantales y que a partir de cada oveja se producen y venden b carneros por año. Luego, cada uno de esos carneros es usado en majadas generales por u años con una probabilidad constante de sobrevivencia de año a año de λ . En cada año, cada carnero sirve a f ovejas que producen en promedio p corderos por año cada una. Entonces, el número de corderos que nacen en el año sucesivo k de los u años de uso de los carneros mejoradores es $O_k = c \times b \times \lambda^{k-1} \times f \times p$ para $0 < k \leq u$.

- **Expresión de la superioridad genética:** un cordero hijo de un carnero mejorador expresará la superioridad genética de su padre y la transmitirá a su propia descendencia si eventualmente pasa a formar parte de la población reproductiva. La expresión genética (ya sea la propia del cordero o la de su descendencia) puede dividirse en una componente “directa” y otra “adulta”. Una expresión directa es, por ejemplo, el peso al destete y una expresión adulta es, por ejemplo, un peso de vellón o un parto. Se denomina $d_{i,j}$ a las expresiones genéticas directas y $m_{i,j}$ a las expresiones genéticas adultas de un cordero y las expresiones de sus descendientes en sucesivas generaciones j . El cordero hijo de un carnero mejorador nace en el año 0 y se vende al destete en el año 1 o se mantiene hasta cumplir su vida útil. Entonces, el cordero hijo de un carnero mejorador expresa la mitad de los genes de este en forma directa al destete solo en el año 1 ($i = 1$), tal que $d_{1,1} = 1/2$, y el resto de la columna de expresiones directas a través del tiempo queda en cero, es decir $d_{i,1} = 0$ para $i > 1$. Si el cordero no es faenado, expresa genes como adulto a través de los años tal que $m_{i,1} = d_{i,1} \times w_k$ donde w_k es la probabilidad de ese cordero de expresarse en el año k después de nacido. Expresiones de la descendencia de ese cordero se presentan como generación 2 ($j = 2$) y así sucesivamente. En general, $m_{i,j} = \sum d_{i+1-k,j} \times w_k$ donde la sumatoria es para $k = 1$ a i . A partir de la expresión de genes adultos es posible calcular en forma recursiva la expresión de genes directos en la próxima camada, tal que $d_{i+x,j} = m_{i,j-1} \times 1/2 \times p$ para $j > 1$, donde x es el número de años entre nacimiento y primer servicio (o primer parto, $x = 2$ en sistemas ovinos típicos). El factor $1/2$ expresa la proporción de genes pasados a la progenie.

La suma de expresiones (a través de j generaciones) de los genes de un carnero mejorador a través de los años (i) puede ser calculada como $\sum d_i = \sum d_{i,j}$ para rasgos directos y como $\sum m_i = \sum m_{i,j}$ para rasgos adultos, con sumatorias que van de $j = 1$ a j_{max} , donde j_{max} es el máximo número de generaciones sobre las cuales se cuentan expresiones. Como a la cuarta o quinta generación, las expresiones del cordero inicial se tornan insignificantes, en este trabajo se fijó $j_{max} = 5$.

- **Expresiones genéticas en estratos adicionales:** hasta aquí se ha modelado una estructura de dos estratos:

planteles y majadas generales. Los establecimientos comerciales medianos suelen tener planteles multiplicadores para producir sus carneros y eventualmente vender excedentes. Los establecimientos comerciales grandes suelen tener los tres estratos: planteles, multiplicadores y majadas generales. La modelación del flujo génico con un estrato adicional es sencilla. Corderos que nacen en el estrato adicional expresan la mitad de los genes de los carneros producidos en el estrato multiplicador ($d_{1,1} = 0,25$). Si la cantidad de carneros producidos por oveja multiplicadora (b), su sobrevivencia (λ) y la cantidad de ovejas servidas por cada uno (f) es similar a los parámetros de referencia usados en el estrato superior de planteles, entonces la cantidad de carneros multiplicadores producidos en los u años de uso de cada carnero mejorador es $c \times b^2 \times \sum \lambda^{k-1} \times f$ con sumatoria que va de $k = 1$ a u .

- **Incorporación de tendencia genética:** se supone que s_i es la superioridad genética en términos económicos por rasgos expresados en la faena (en forma directa) de un cordero nacido en el año i respecto al valor económico en el año $i - 1$. Se supone también que a_i es la superioridad genética en términos económicos para rasgos de expresión en adultos (o en forma materna). Se define T como el número de años que dura el programa de mejora genética y H el número de años que se van a considerar en la evaluación del impacto del programa de mejoramiento, tal que $T \leq H$. Entonces, el progreso genético directo acumulado en el año i del período de análisis ($i = 1$ a H) es $y_i = \sum s_j$ y el adulto acumulado $z_i = \sum a_j$ con sumatorias que van de $j = 1$ a i para $i = 1$ a T . Si $T < H$, $y_i = y_T$ y $z_i = z_T$ para i de $T+1$ a H .
- **Beneficio económico total descontado:** el beneficio económico del progreso genético $e_{i,j}$, donde i es el año en que se realiza el primer apareamiento de carneros mejoradores y j es el año en que se materializan los beneficios de ese apareamiento en la majada general, se obtiene como $e_{i,j} = \sum O_k (y_{i-k+1} \times \sum d_{j-i+1} + z_{i-k+1} \times \sum m_{j-i+1})$ con sumatoria para $k = 1$ a i y $j \geq i$. Si $k > u$, $O_k = 0$. Sumando los beneficios económicos de todos los años ($i = 1$ a H) como $v_j = \sum e_{i,j}$ y luego actualizando esos valores multiplicando con el factor de actualización $q_j = (1/(1+r))^{j+1}$, donde r es

la tasa de descuento, se obtiene el beneficio total descontado como $\epsilon = \sum q_j v_j$ con sumatoria para $j = 1$ a H .

Para el análisis de estructuras de dos estratos, el beneficio se realiza a partir del año 1, considerando que en el año 0 se realiza el apareamiento de ovejas comerciales con carneros que las majadas comerciales compran con un costo de oportunidad. Para el análisis de estructuras de tres estratos se considera que los primeros carneros multiplicadores tendrán su primera progenie al segundo año de nacidos, es decir, al año 2 y los primeros ingresos se computan a partir de la venta de corderos en el año 3.

Sistemas analizados

Se analizó el impacto económico de programas de mejoramiento en las razas Merino, Corriedale e Ideal. Las dos primeras son las principales razas de ovinos de la Argentina mientras que la raza Ideal tiene importancia en la región del litoral (Mueller, 2005). La raza Merino se cría en su tipo Astado y Mocho. Aquí consideramos el tipo Astado, que representa el 90% de la raza. A los fines de estimar los parámetros necesarios que permitan calcular el número de descendientes que portan genes de carneros producidos en los planteles con evaluación genética se analizaron las correspondientes bases de datos de registros Provino y se resumieron estadísticos poblacionales típicos que permiten calcular el número de corderos nacidos de carneros mejoradores en cada raza (tabla 1).

El cordero nacido de un carnero mejorador va a expresar la superioridad (o inferioridad) genética adquirida como cordero (a la faena) o como adulto (a través de los años). Para determinar las expresiones de adultos se requiere conocer la probabilidad de ese cordero de estar presente a través de años sucesivos (w_k). En majadas comerciales normalmente solo las hembras son retenidas, y por ello, los valores de w_k se obtienen de la distribución de edades de ovejas y las tasas de reemplazo en majadas comerciales típicas. Estas distribuciones de edades y tasas de reemplazo dependen de la tasa reproductiva, mortandades y vida útil de las ovejas. Para considerar el caso de retención de machos como capones productores de lana habría que

Parámetro	Símbolo	Merino	Corriedale	Ideal
Cantidad de ovejas en planteles Provino Avanzado	c	1500	600	300
Cantidad de carneros que produce cada oveja de plantel	b	0,3	0,25	0,3
Años de uso de los carneros en las majadas comerciales	u	4	4	4
Sobrevivencia de carneros de un servicio a otro	λ	0,9	0,9	0,9
Cantidad de ovejas servidas por carnero	f	30	35	35
Cantidad de corderos (nacidos) por oveja	p	0,75	0,80	0,75
Mortandad anual a partir del primer año	m^2	0,05	0,03	0,03
Cantidad de esquilas de hembras (=servicios +1)	uf	6	7	7

Tabla 1. Parámetros productivos a nivel de plantel y majadas comerciales.

agregar un vector, por ejemplo c_{ij} , que contenga la proporción de capones retenidos por cordero nacido a través de los años de vida. En general, los productores de ovinos no retienen capones o retienen muy pocos. Por ello, ese caso no es considerado en el presente análisis.

A los fines de modelar w_k hay que determinar la distribución de edades. Si m_1 es la mortandad desde nacimiento hasta el primer año y m_2 es la mortandad anual a partir del primer año, entonces el vector w se puede modelar determinando las proporciones de animales en cada categoría de edad como $q_t = 1/\sum (1 - m_2)^t$ con sumatoria de $t = 1$ a uf donde uf es el número de esquilas (= pariciones + 1) de ovejas y $q_0 = q_1(1 + m_1)$. El porcentaje de reemplazos es entonces $re = 2 q_d/p$ y $w_t = q_t \times re$ para t de 1 a uf y $w_0 = 0$. Nótese que si p se define como la cantidad de corderos producidos por oveja al destete (año = 1) entonces m_1 se puede ignorar. En efecto, a los fines del presente estudio, p se define como porcentaje de corderos al destete. En la tabla 1 se incluyen los valores típicos para los parámetros necesarios en el modelo de w_k .

Para las razas Merino y Corriedale se analizaron las estructuras genéticas de tres estratos y para la raza Ideal se analizó una estructura de dos estratos. Para las tres razas se optó por presentar el beneficio económico solamente del estrato de majadas generales.

Se realizaron análisis de sensibilidad sobre los carneros producidos por oveja (b) y las ovejas servidas por carnero

Rasgo	Merino	Corriedale	Ideal
Peso al destete (kg/año)	0,122	0,027	0,138
Peso de vellón limpio (kg/año)	0,008	0,002	0,002
Diámetro de fibras (μ m/año)	-0,038	-0,049	-0,101
Número corderos destetados (cord/año)	--	0,001	--
Peso adulto (kg/año)	0,282	0,055	0,162

Tabla 2. Progreso genético anual realizado en unidades del rasgo (pendientes en las regresiones de la figura 1).

Rasgo	Merino	Corriedale	Ideal
Peso al destete (USD/kg)	19,46	19,46	15,20
Peso de vellón limpio (USD/kg)	64,82	39,76	59,71
Diámetro de fibras (USD/ μ m)	-3,51	-2,01	-4,72
Número corderos destetados (USD/cord)	486,53	505,99	364,87
Peso adulto (USD/kg)	5,40	5,40	4,51

Tabla 3. Beneficio (precio – costo) de cambios unitarios.

Fuente: Precios de carne basados en IPCG (2015) del 20 de noviembre de 2015 y precios de lana basados en SiPyM (2015) del 26 de noviembre de 2015. Costos en porcentaje de precios basados en Álvarez *et al.* (2014).

(f) tomando como referencia los valores típicos y calculando el efecto de cantidades menores y mayores. También se analizaron la tasa de sobrevivencia de carneros (λ) y la tasa reproductiva (p) para valores menores y mayores de las referenciales para cada raza.

Caracteres analizados y su progreso genético

Se analizó el progreso genético en peso al destete (PCD) como carácter de expresión directa, y el peso de vellón limpio (PVL), promedio de diámetro de fibras (PDF), peso adulto (PCA) y el número de corderos destetados (NCD)

Rasgo	Merino	Corriedale	Ideal
Peso al destete (USD/año)	2,37	0,53	2,10
Peso de vellón limpio (USD/año)	0,52	0,08	0,12
Diámetro defibras (USD/año)	0,13	0,10	0,48
Número corderos destetados (USD/año)		0,51	
Peso adulto (USD/año)	1,52	0,30	0,73
Rasgos de expresión directa (USD/año)	2,37	0,53	2,10
Rasgos de expresión adulta o materna (USD/año)	2,18	0,98	1,33

Tabla 4. Progreso genético anual realizado en unidades económicas.

Resultados	Merino	Corriedale	Ideal
Cantidad de ovejas en planteles Provino	1500	600	300
Carneros E1 producidos por año en planteles E1	450	150	90
Carneros E1 x vida útil	1548	516	310
Ovejas E2 apareadas por carneros E1	46427	18055	10833
Corderos E2 producidos por carneros E1	34820	14444	8125
Carneros E2 producidos por ovejas E2	13928	4514	
Carneros E2 x vida útil	47898	15523	
Ovejas E3 apareadas por carneros E2	1436947	543290	
Corderos E3 producidos por carneros E2	1077710	434632	
Beneficio económico acumulado (en miles de USD)	7697	933	120

Tabla 5. Cantidad de animales en mejoramiento genético y beneficio económico acumulado en 20 años por mejora genética en los sistemas de referencia.

Nota: E1, E2 y E3 son los estratos de planteles, multiplicadores y majadas generales, respectivamente.

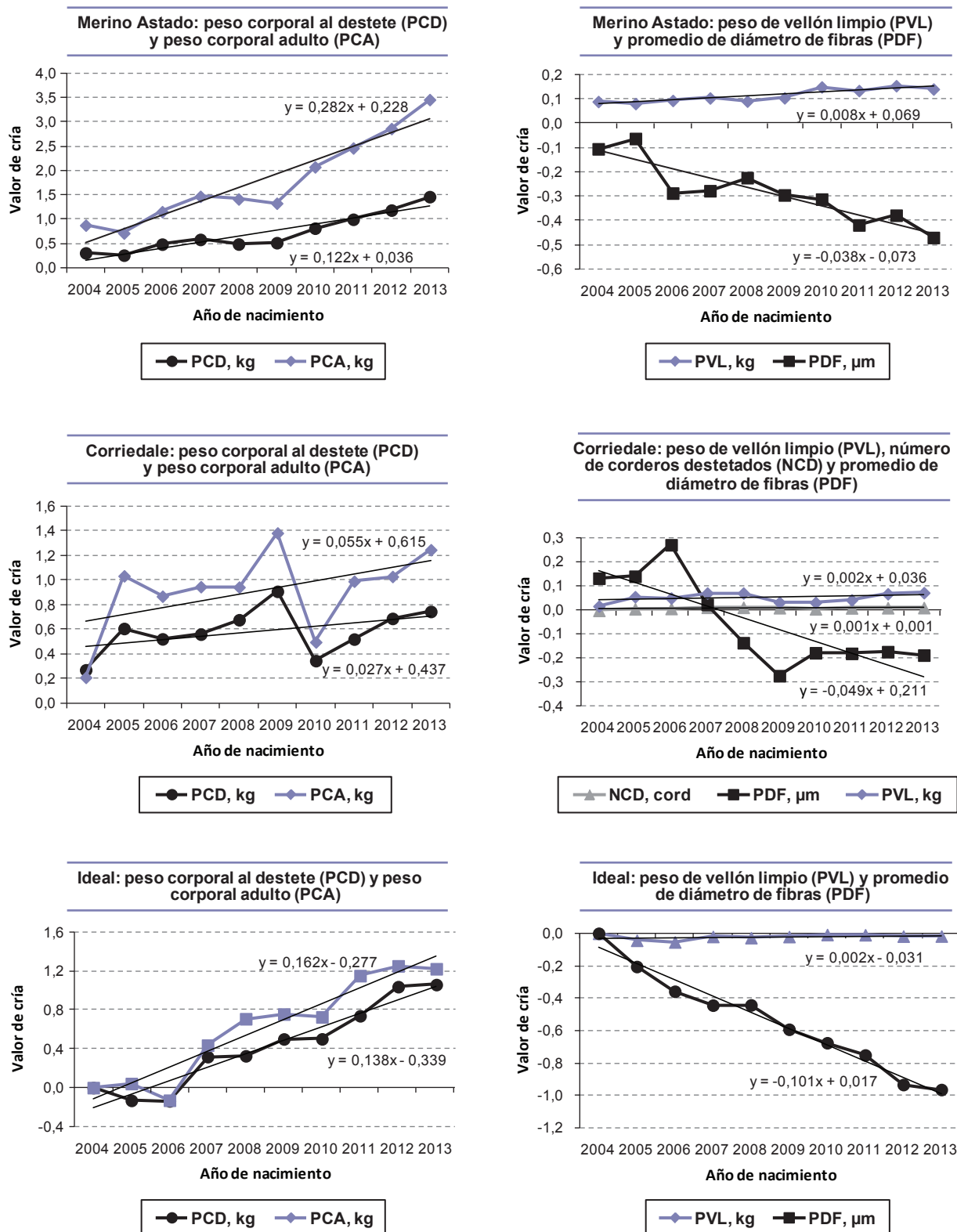


Figura 1. Progreso genético en rasgos de interés económico de tres razas en los últimos diez años (adaptado de Provino, 2015).

como caracteres de expresión adulta. En las razas Merino e Ideal no se consideraron progresos en NCD ya que se trata de una característica de poca importancia en los planes de mejora genética en las respectivas razas y de

las cuales tampoco hay suficiente información de tendencia genética. Los méritos genéticos promedio anuales de los rasgos de interés en las tres razas registradas en los catálogos correspondientes (Provino, 2015) se observan

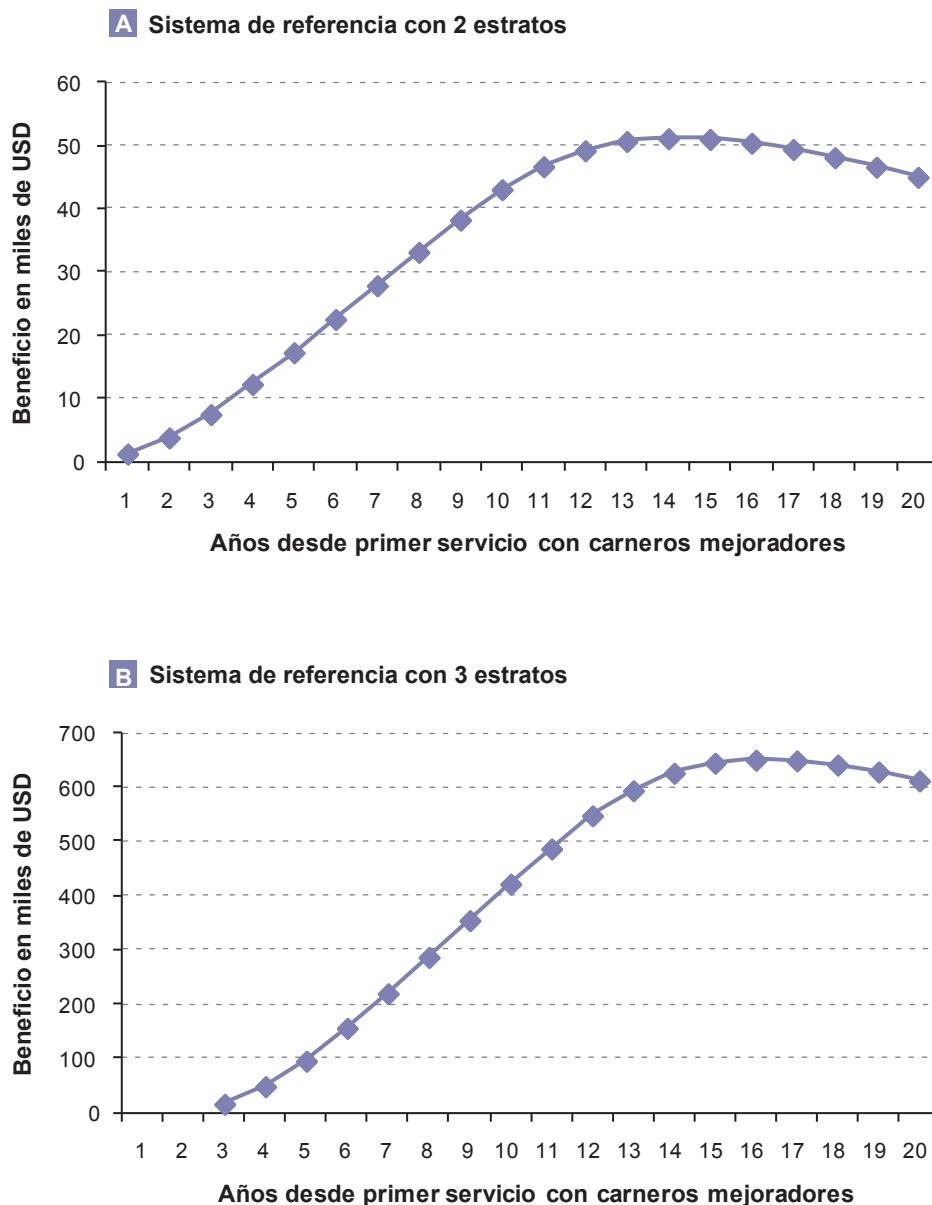


Figura 2. Beneficio anual descontado en el estrato de majadas comerciales de la raza Merino Astado que utiliza carneros del estrato de cabañas Provino Avanzado (A) o de un estrato de MPR multiplicador (B). Parámetros del sistema de referencia: años de mejora = 10, tasa de descuento = 0,05, carneros producidos por madre = 0,3, ovejas servidas por carnero = 30, reproducción = 0,75, sobrevivencia anual de carneros = 0,9.

en la figura 1. A los fines de reflejar las tasas de progreso genético anual promedio se usaron las regresiones lineales de los valores de cría para los últimos 10 años como indicadores de progreso genético anual (tabla 2).

Progreso genético en términos económicos

A fines de determinar el valor económico del progreso genético anual observado en cada rasgo se usaron precios vigentes en noviembre de 2015 y costos de producción publicados por Álvarez *et al.* (2014). Estos costos se aplica-

ron como porcentaje del valor del producto en el año 2014 y ese porcentaje se aplicó luego al año 2015 para llevar los valores monetarios a un mismo nivel de referencia. El resultado obtenido de los precios menos los costos por unidad de cambio en cada rasgo se presenta en la tabla 3. El tipo de cambio utilizado para todos los cálculos fue de 10 pesos por USD. El progreso genético en términos económicos logrado en PCD por cordero y en NCD, PVL, PDF y PCA por oveja adulta se presenta en la tabla 4.

El beneficio económico a nivel de majadas comerciales se evaluó para todas las razas a un horizonte de 20 años

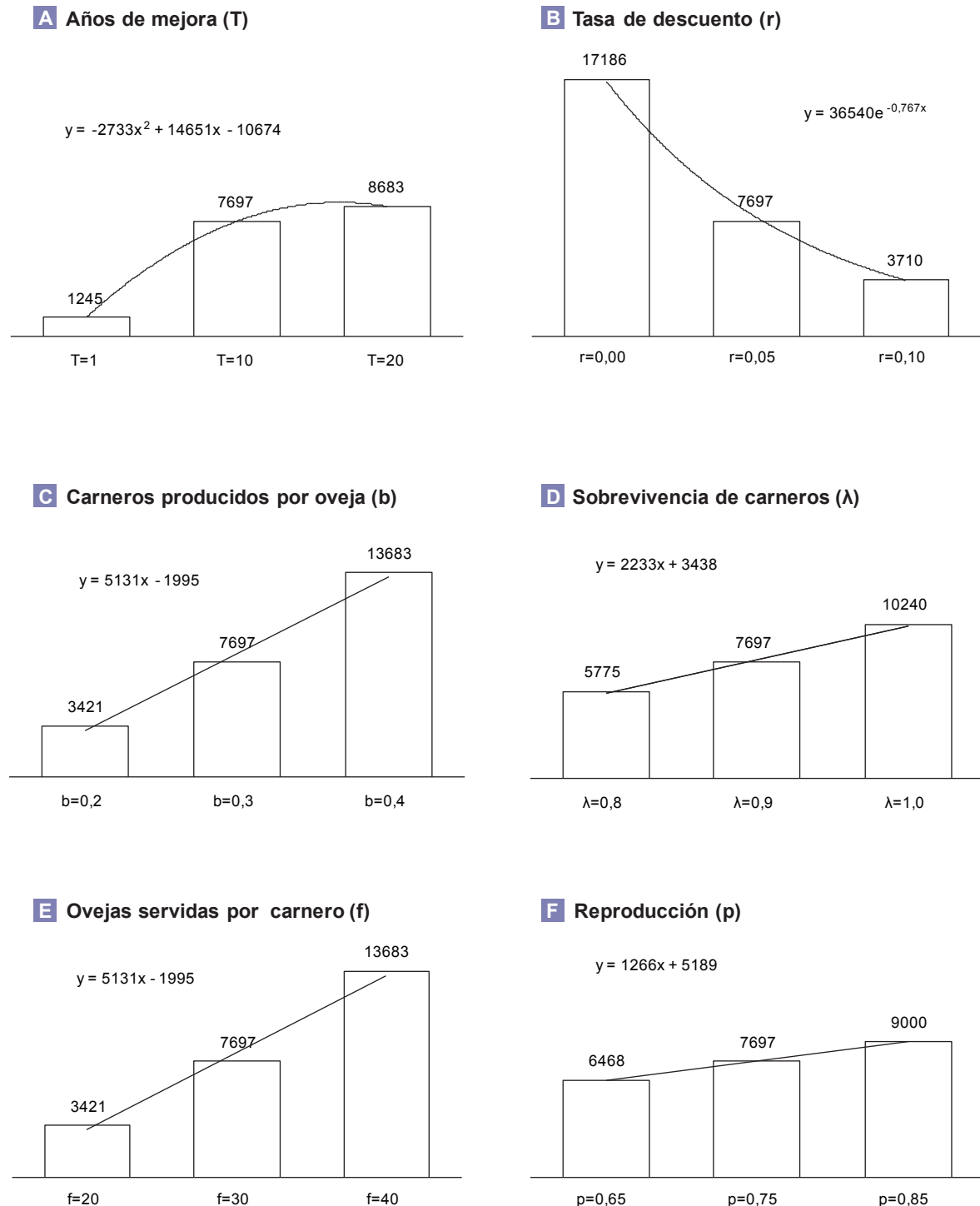


Figura 3. Beneficio descontado y acumulado en 20 años resultante de 10 años de progreso genético realizado en la raza Merino Astado (en miles de USD). Sensibilidad a cambios en los parámetros supuestos en el sistema de referencia: años de mejora = 10, tasa de descuento = 0,05, carneros producidos por madre = 0,3, ovejas servidas por carnero = 30, reproducción = 0,75, sobrevivencia anual de carneros = 0,9.

($H = 20$) considerando el efecto de 10 años de mejoramiento ($T = 10$) y una tasa de descuento del 5% ($r = 0,05$) que se adecúa a programas de interés racial o nacional (Bird y Mitchell, 1980). La sensibilidad de los resultados se analizó

también para programas de mejoramiento de un año ($T = 1$) o veinte años ($T = 20$) y para programas sin descuento ($r = 0,0$) y con un descuento adecuado a programas de interés individual con un mayor costo de oportunidad ($r = 0,1$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Beneficios según raza

Los beneficios descontados acumulados en 20 años (específicamente los años 2004 a 2023) debidos a 10 años (específicamente los años 2004 a 2013) de mejora genética en los planteles resultaron en 7,70 millones de USD para el sistema de referencia de la raza Merino Astado, en 0,93 millones de USD para Corriedale y en 0,12 millones de USD para Ideal (tabla 5). La diferencia del beneficio entre Merino y Corriedale se debe fundamentalmente al tamaño de la población involucrada y a las tasas de progreso alcanzadas en sus planteles. La mayor cantidad de ovejas en los planteles Merino implica una mayor diseminación a mayor cantidad de ovinos en planteles multiplicadores y majadas generales (tabla 5). Las tasas anuales de progreso genético en Merino son mucho mayores que las tasas en Corriedale en todas las características, salvo en PDF en que la diferencia resultó menor (tabla 2). La diferencia del beneficio de la raza Ideal con las otras, aparte de la diferencia en el tamaño de los planteles (tabla 1), se debe fundamentalmente a la estructura de 2 estratos considerada para esta raza. Los carneros producidos por los productores de Ideal agrupados en Cabañas Integradas se usan más que nada en majadas generales. Si esos carneros se usaran en planteles multiplicadores, el progreso se multiplicaría a más majadas y el beneficio en ese estrato alcanzaría aproximadamente a 1,55 millones de USD, proporcionalmente mayor a Merino y Corriedale que tienen más ovejas en planteles, pero menores tasas de progreso que la población de la raza Ideal analizada.

En todo caso, los beneficios económicos del mejoramiento genético son notables. Por ejemplo, el beneficio por oveja de la raza Merino Astado fue de 5,36 USD (7,697 millones de USD/1,437 millones de ovejas, tabla 3), 32% más que el valor de un kg de lana (4,06 USD/kg para lanas Merino parto de 20 μ m de finura y 60% de rinde al peine, SiPyM, 2015). El beneficio calculado también es coherente con análisis similares realizados para poblaciones de ovinos de Australia y Gran Bretaña. Por ejemplo, Greeff (1997) calculó en un millón de dólares australianos el beneficio económico descontado y acumulado en 14 años por un programa de mejora de 40000 ovejas en el oeste de Australia cuyo progreso genético anual promedio en 6 años fue de -0,1 μ m en PDF, 0,04 kg en PVL y 0,26 kg en peso corporal al año. Atkins (1993) estimó que el beneficio de 30 años de mejoramiento genético de ovinos en Australia genera 3500 millones de dólares acumulados. Para los cálculos, Atkins (1993) asumió una tasa anual de progreso de 1 dólar australiano, equivalente a 2,7% de margen bruto anual. Amer *et al.* (2007) estimaron el beneficio de 10 años de mejoramiento genético de ovinos en Gran Bretaña como cercano a 17,8 millones de libras esterlinas.

Para las tres razas se consideró solamente el beneficio en el estrato de las majadas generales. La contabilización del beneficio en los estratos superiores aumentaría el beneficio total un 9%. Se optó por no reportar este beneficio adicional ya que la estructura de ingresos y costos suele

ser diferente en los estratos productores de carneros que en las majadas comerciales. Aunque sencillos de incluir en los análisis, no se contemplaron los costos del mejoramiento genético, pero se puede asumir que son compensados ampliamente con los ingresos adicionales no considerados en los estratos superiores.

Análisis de sensibilidad a los supuestos

Para las tres razas se analizaron los beneficios descontados acumulados en 20 años ($H = 20$) luego de 10 años de mejora genética ($T = 10$). En la figura 2 se observa que en la raza Merino Astado el beneficio alcanza un máximo anual después del final de los años del programa de mejora (años 1 al 10), esto es por el retraso en la manifestación del progreso a través de los estratos y por la multiplicación del número de animales portadores de mejora en la medida en que pasa el tiempo. Luego, progresivamente, el beneficio anual actualizado disminuye por el factor de actualización (q_t) que se reduce con el tiempo. Resultados adicionales indican que el efecto de la actualización es mucho mayor que el efecto de dilución de genes mejoradores con el tiempo. La reducción del beneficio con el tiempo se observa primero en el estrato multiplicador y luego en el estrato de majadas comerciales (figura 2A y 2B). El beneficio descontado acumulado además depende en forma cuadrática de los años de mejora genética modelada (figura 3A), en cambio, la tasa de descuento tiene un efecto exponencial sobre el beneficio (figura 3B).

Aparte del tamaño de población involucrada, el número de estratos considerados, la tasa de progreso anual, el número de años de mejora genética y la tasa de descuento, el beneficio depende de los parámetros de los sistemas de producción de referencia. Varios de los parámetros supuestos modifican linealmente los resultados. Por ejemplo, la cantidad de carneros producidos por madre en los estratos superiores (figura 3C), la sobrevivencia de esos carneros (figura 3D), la cantidad de ovejas servidas por carnero (figura 3E) y la tasa reproductiva (figura 3F). Así por ejemplo, la reducción del número de carneros producidos por madre (b) de 0,3 a 0,2 reduce el beneficio en forma equivalente a la reducción del número de ovejas servidas por carnero (f) de 30 a 20.

Los modelos de referencia suponen servicio natural. En el sistema de referencia con Merino Astado cada carnero mejorador es usado anualmente sobre 30 ovejas ($f = 30$), pero al menos algunos carneros podrían ser usados en programas de inseminación artificial (IA) con semen fresco. Si por ejemplo un 5% de los carneros nacidos en el estrato superior y en el estrato multiplicador se usan en IA sirviendo 300 ovejas cada uno ($f = 300$), el 95% restante se usa en servicio natural ($f = 30$) entonces el promedio de servicios por carnero sube a 43,5 (f promedio ponderado = 43,5), el número de corderos con genes de carneros mejoradores aumenta de 1,1 millones a 2,3 millones y el beneficio acumulado descontado en las majadas generales aumenta a más del doble. Es más probable que la IA se aproveche para usar menos carneros, pero genéticamente

superiores que para aumentar el número de corderos. En ese caso, la tasa de progreso utilizada en los modelos aplicados debe ser incrementada en función de los incrementos en los diferenciales de selección alcanzados.

Progreso genético y su diseminación

El beneficio se calculó sobre el progreso genético registrado en los planteles que utilizan Provino Avanzado. De los 27 planteles activos de la raza Merino Astado, solo 5 participan de la evaluación poblacional Provino Avanzado, aunque estos 5 planteles proveen el 48% de carneros a multiplicadores (445 de 924, base de datos AACM, nacimientos 2014, Epper, C.E., comunicación personal). No se puede inferir el progreso genético de los planteles Merino que no participan de Provino Avanzado. En el supuesto que estos planteles tuviesen el mismo progreso genético, el beneficio calculado y los ovinos mejorados se incrementarían proporcionalmente. Es decir, que el beneficio total sería casi el doble de los 7,70 millones de USD calculados para la población participante de Provino Avanzado.

Cabe señalar que la cantidad de ovejas Merino Astado de majada general que resultan del modelado del sistema de referencia (1,44 millones, tabla 3) es aproximadamente el 46% de las ovejas Merino Astado del país, suponiendo que todas las ovejas de Río Negro y Chubut y la mitad de las ovejas de Santa Cruz (SENASA, 2015) son Merino y 90% de ellas son del tipo Astado. Si toda la población Merino de Argentina tiene vinculación genética con los planteles, entonces el 46% es consistente con el 48% de carneros provistos por los planteles que utilizan Provino Avanzado.

El progreso genético registrado en los planteles se calculó usando la metodología habitual de predicción de valores de cría por año de nacimiento. La metodología depende de los parámetros genéticos supuestos, por lo que el beneficio calculado también depende de esos parámetros. Provino Avanzado utiliza parámetros obtenidos de la propia población evaluada que, para la raza Merino, suelen ser consistentes con promedios de la literatura (Safari *et al.*, 2005; Mueller *et al.*, 2003). Para otras razas con poblaciones más pequeñas (raza Ideal) o menos información publicada (raza Corriedale), Provino utiliza parámetros de la literatura que pueden diferir levemente de los apropiados a la raza en Argentina y, en consecuencia, generar estimaciones de progreso menos exactas. En todo caso, los progresos genéticos usados en el cálculo del beneficio son determinantes y en la figura 1 se observan algunos caracteres con fluctuaciones anuales importantes, en particular en la raza Corriedale. La consideración de la varianza en el progreso genético permitiría asignar límites de confianza al progreso genético y, en consecuencia, también al beneficio económico calculado (Ponzoni *et al.*, 2007).

Los criadores participantes de Provino Avanzado utilizan las evaluaciones genéticas junto con la propia experiencia e intuición en sus decisiones de selección. Estos mismos criadores también suelen realizar introducciones de carneros de otros planteles e incluso del exterior. En el caso de la

raza Merino los animales importados tienen gran relevancia genética (Vozzi *et al.*, 2014) y no es posible determinar fehacientemente la proporción del progreso genético adjudicable a la mayor exactitud de selección por información Provino y la proporción adjudicable a las introducciones y otras decisiones de reemplazo de ovejas y carneros. Sin embargo, es posible estimar el progreso genético teórico que se podría alcanzar por selección dentro de los planteles usando los méritos genéticos estimados por Provino y los diferenciales e intervalos generacionales de los sistemas de referencia.

La teoría de índices de selección también permite predecir progresos genéticos posibles si los criadores basaran su selección exclusivamente en índices de selección propuestos por Provino (Álvarez *et al.*, 2014). En el caso de la raza Merino Astado, la definición por un índice de selección, basado en mediciones de PC a la esquila, PVL y PDF usado en muchos planteles y asumiendo parámetros del sistema de referencia, la teoría predice progresos genéticos anuales de 0,17 kg, 0,03 kg, -0,11 μm y 0,36 kg, para PCD, PVL, PDF y PCA, respectivamente. Las tasas de progreso efectivamente alcanzadas (tabla 2) indican que los criadores lograron aproximadamente el 70% del progreso posible en pesos corporales (PCD y PCA) y aproximadamente el 30% en rasgos del vellón (PVL y PDF). El margen para aumentar el progreso genético es entonces amplio, aun sin la incorporación de carneros del exterior.

Implicancias del beneficio

La evaluación de un programa de mejoramiento genético no debería restringirse a la población animal involucrada, sino debería considerar las consecuencias a lo largo de la cadena de valor de los productos mejorados genéticamente (FAO, 2010). Por ejemplo, los beneficios debidos a la producción de lanas más finas no se restringen a los criadores y productores de majada general, sino que se multiplican en la industria lanera. En efecto, análisis preliminares indican que el eslabón más beneficiado por el afinamiento de las lanas Merino en la Argentina es la industria que puede producir bobinas de lana de mayor valor a partir de una mejor materia prima (Mueller, sin publicar).

La adopción de tecnologías de mejora genética depende de la disponibilidad de facilidades crediticias, productos de investigación, servicios de extensión y servicios de evaluación genética. Banks (2001) estimó en 71 millones de dólares australianos en un período de 5 años el beneficio de Lambplan, el servicio de evaluación genética de ovinos de Australia equivalente al Provino argentino. Atkins (1993) estima que al menos la mitad del beneficio del mejoramiento genético ovino australiano se debe a los productos de la investigación y extensión en mejoramiento genético.

CONCLUSIÓN

El beneficio económico acumulado y descontado que genera el mejoramiento genético en los planteles y su di-

seminación en las majadas generales de las razas Merino Astado, Corriedale e Ideal en la Argentina es sustancial como lo es también el margen para aumentar ese beneficio a través del aumento de la tasa de progreso genético en los planteles y el incremento de la cantidad y diseminación de carneros mejoradores. Estos resultados deberían alentar políticas de promoción, basadas en los beneficios económicos comprobados, tanto del mejoramiento genético a nivel de los planteles como del aprovechamiento de carneros mejoradores.

AGRADECIMIENTOS

A Peter Amer de AbacusBio Ltd por su sugerencia de incluir caracteres de expresión anual, como los de esquila, en el vector de caracteres maternos (aquí adultos). A Carlos Epper de la Asociación Argentina Criadores de Merino por facilitar estadísticas y genealogía de la raza Merino. A Daniel Maizon de INTA La Pampa por sugerencias de mejora a versiones preliminares de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

AMER, P.R.; NIEUWHOF, G.J.; POLLOT, G.E.; ROUTHSEGE, T.; CONINGTON, J.; SIMM, G. 2007. Industry benefits from recent progress in sheep and beef populations. *Animal* 1: 10, 1414-1426.

ÁLVAREZ, J.M.; MUELLER, J.P.; VOZZI, P.A.; MILICEVIC, F. 2014. Objetivos de mejoramiento e índices de selección para la raza Corriedale en Argentina. Memorias xv Congreso Mundial Corriedale, 21-22 de julio, Buenos Aires, Argentina.

ATKINS, K.D. 1993. Benefits of genetic improvement to the Merino wool industry. *Wool Technology and Sheep Breeding* 41, 257-268.

BANKS, R. 2000. LAMBPLAN. A sheep breeding strategy. En: GALAL, S., BOYAZOGLU, J.; HAMMOND, K. (Eds.) *Developing breeding strategies for lower input animal production environments*. FAO ICAR Technical Series N.º 3 pp. 521-539.

BIRD, P.J.W.N.; MITCHELL, G. 1980. The choice of discount rate in animal breeding investment appraisal. *Animal Breeding Abstracts* 48, 499-505.

ELSEN, J.M.; MOCQUOT, J.C. 1974. Recherches pour une rationalisation technique des schémas de sélection des bovins et

des ovins. *Bulletin Technique de Département de Génétique Animale* 17, INRA, París.

FAO. 2010. Evaluación de las decisiones de inversión. Sección F del libro: *Estrategias de mejora genética para la gestión sostenible de los recursos zoogenéticos*. Directrices FAO: Producción y Sanidad Animal N.º 3. Roma, pp. 114-128.

GIOVANNINI, N.; VOZZI, P.A.; ÁLVAREZ, M.; MAIZON, D.O.; MUELLER, J.P. 2015. Genética. En: MUELLER, J.P.; CUETO, M.I. Y ROBLES, C.E. (Eds.) *Actualización en producción ovina 2015*. INTA Bariloche, pp. 95-111.

GREEFF, J.C. 1997. Cost-benefit analysis of realized genetic improvement of wool production in an open nucleus breeding scheme. *Wool Technology and Sheep Breeding* 45, 157-166.

HILL, W.G. 1974. Prediction and evaluation of response to selection with overlapping generations. *Animal Production* 18, 117-139.

IPCG. 2015. Informe de precios de carne y ganado de la Patagonia. Informe N.º 19. INTA.

MUELLER, J.P. 2005. Síntesis de las razas ovinas y su uso en la Argentina. En: MUELLER, J.P. Y CUETO, M.I. (Eds.) *Actualización en producción ovina 2005*. INTA Bariloche, pp. 111-123.

MUELLER, J.P. 2010. Progreso genético y evaluación económica de programas de mejora genética. En: MUELLER, J.P. Y CUETO, M.I. (Eds.) *Actualización en producción ovina 2010*. INTA Bariloche, pp. 117-139.

MUELLER, J.P.; BIDINOST, F.; TADDEO, H.R. 2003. Parámetros genéticos en dos planteles Merino de la Patagonia. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 32, 161-172.

PONZONI, R.W.; NGUYEN, H.N.; KHAW, H.L. 2007. Investment appraisal of genetic improvement programs in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 269, 187-199.

PROVINO. 2015. Servicio argentino de información y evaluación genética de ovinos, caprinos y camélidos (www.provino.com.ar verificado 27 de noviembre de 2015).

SAFARI, E.; FOGARTY, N.M.; GILMOUR, A.R. 2005. A review of genetic parameter estimates for wool, growth, meat and reproduction traits in sheep. *Livestock Production Science* 92, 271-289.

SENASA. 2015. Sistema integrado de gestión de sanidad animal (SIGSA). Indicadores ganaderos. Ovinos. SENASA, Argentina.

SIPYM. 2015. Sistema de precios y mercados (www.labraw.com.ar/infos-sipym.php verificado 27 de noviembre de 2015).

VOZZI, P.A.; MUELLER, J.P. 2014. La variabilidad genética de la raza Merino. *Journal of Basic & Applied Genetics* 25 (Supp. 1), 29-30.