

## **Análisis de rentabilidad de la inversión en mejoramiento genético de ganado bovino lechero bajo condiciones chilenas**

Köbrich, C.<sup>1</sup>; Catalán, F.; Martínez, V.; Maino, M.  
Facultad de Ciencias Veterinarias, Campus Sur, Universidad de Chile, Santiago.

### **Abstract**

**Köbrich, C.; Catalán, F.; Martínez, V.; Maino, M.**

#### **Return to investment on the genetic improvement of dairy cattle under Chilean conditions**

An economic model was used to evaluate the profitability of genetic improvement investment of dairy cattle, under five productive conditions typical of Chile. To this effect an index that estimates the net present value (NPV) of a semen dose was elaborated. This index considers the prices of semen, milk, fat and protein, real interest rate, genetic merit with regard to milking and conformation features, production costs and reproductive parameters. The model was employed to (1) measure the effect of genotype-environment interaction on the profitability of the investment in semen, (2) the relationship between the NPV, price of semen and the genetic merit indicators, and (3) the sensitivity of the NPV with regard to changes in herd fertility. Results show that the NPV is highly determined by the price of semen and that the predicted transmitting ability (PTA) for milk is the best profitability estimator. The improvement in milk solid contents and the investment on high price semen resulted profitable only for those production levels where the coefficients of response to selection are the highest.

**Keywords:** profitability index, genotype-environment interaction, semen price.

### **INTRODUCCION**

En la producción lechera bovina, el mejoramiento genético del rebaño constituye una estrategia importante en el aumento de los ingresos, incrementando el volumen de leche producido por vaca y modificando la composición láctea. Ello implica, entre otros, invertir en semen de toros con un potencial genético superior y un aumento de los costos por concepto de alimentación. Desde esta perspectiva, un programa de mejoramiento debe considerar los costos y beneficios involucrados, así como aquellos factores que los modifican. En el caso chileno, se desconoce la rentabilidad de las inversiones en mejoramiento genético y no se cuenta con las herramientas de

---

<sup>1</sup> Dirigir correspondencia a Claus Köbrich, correo electrónico ckobrich@uchile.cl.

decisión adecuadas para seleccionar a los toros según máxima rentabilidad. Además, la mayor parte del material genético para inseminación artificial en Chile, corresponde a semen Holstein importado desde Estados Unidos (Banco Central, 2002). La decisión de compra de este semen se basa en información entregada por las empresas importadoras, las que utilizan estimaciones elaboradas en el país de origen, razón por la cual los resultados de mejoramiento genético difieren de las predicciones, debido al efecto de interacción genotipo ambiental evidenciado en nuestro país (Verdugo, 2002; Barría *et al.*, 2002). Respondiendo a estos problemas, el presente estudio presenta un modelo económico para lecherías chilenas que fue utilizado para evaluar la inversión en semen. Dicho modelo, consideró en forma simultánea los principales indicadores genéticos utilizados en la selección de toros Holstein.

El mejoramiento genético del rebaño es una de las áreas que presenta gran dificultad en la toma de decisiones de inversión. Entre los factores que producen esta dificultad se puede mencionar: a) la dificultad de asignar valores económicos precisos a la ganancia genética, debido a la influencia de otras características sobre la expresión de la primera (Melton *et al.*, 1993); b) lo complejo que resulta predecir el valor económico de características de conformación en relación a la longevidad de las hijas (Blake *et al.*, 1987); c) las diferencias de rentabilidad que presenta la inversión en semen de un mismo toro en distintos escenarios productivos del rebaño (Wilcox *et al.*, 1984); d) las variaciones en las condiciones del mercado que modifican los precios de productos e insumos (Groen, 1988); e) las variaciones en la repetibilidad de "*Predicted Transmitting Abilities*" (PTA) en los toros (Wilcox *et al.*, 1984); y f) la selección basada en las evaluaciones realizadas en otro país, sin considerar la interacción genotipo ambiental evidenciada en varios casos. Por ejemplo, en programas de mejoramiento genético en rebaños Latinoamericanos, se ha observado que al utilizar estimaciones de PTA de toros importados desde Estados Unidos se sobrestima la respuesta productiva de leche, grasa y/o proteína debido a que los coeficientes de regresión del promedio de producción de las hijas del toro seleccionado sobre su PTA son menores a la unidad (Stanton *et al.*, 1991; Verdugo, 2002; Barría *et al.*, 2002).

Los registros de toros activos para inseminación artificial cuentan con una serie de indicadores acerca de su mérito genético, que ayudan al comprador a tener una idea aproximada de los resultados productivos que obtendrá al invertir en semen de un reproductor determinado. Un indicador importante es el PTA ("*Predicted Transmitting Abilities*"), que se define como el mejor estimador de la superioridad (o inferioridad) en características lecheras y de conformación de las

hijas de un toro en relación a una base genética. Aunque sencillos de interpretar, los PTA's para las distintas características sólo entregan información del mérito genético de un parámetro en forma aislada, lo que se hace insuficiente en casos de evaluación de superioridad genética conjunta de más de una característica.

Los índices de selección surgen como una solución al problema de selección para más de una característica. Estos consideran en forma simultánea varios indicadores de mérito genético ponderados por la importancia relativa que tenga la característica en términos económicos, su heredabilidad y las correlaciones genéticas y fenotípicas que existen entre los diferentes caracteres. El objetivo de aplicar la selección al índice, como si éste fuese un carácter simple, es obtener el mejoramiento mas rápido posible del valor económico involucrado en un criterio de selección determinado (Falconer, 1970).

Los índices de selección así como los PTA, entregan información limitada a los productores chilenos que importan semen de reproductores norteamericanos debido a lo siguiente:

- 1) Los ponderadores económicos de índices sólo tienen valor en términos relativos dentro del ranking, como consecuencia de las fluctuaciones de precios de insumos y productos. Por lo que cada ranking puede verse modificado a raíz de las diferencias de modalidades de pago de la leche y los costos de producción entre los dos países, lo que generaría un cambio en los valores económicos relativos de los *PTA's* incorporados en el índice.
- 2) Los *PTA's* asignados a cada toro para producción de leche, grasa y proteína sobreestiman la repuesta obtenida en promedio por sus hijas en condiciones chilenas (Barría *et al.*, 2002; Verdugo, 2002).
- 3) Los índices que estiman retornos económicos como producto de la ganancia genética, no consideran el tiempo transcurrido entre la inseminación de la madre y el inicio de la producción de su hija.
- 4) La aplicación de estos índices así como otros existentes, no contempla el precio del semen como factor de influencia en el ranking y por lo tanto, no identifica la alternativa de máxima rentabilidad (Wilcox *et al.*, 1984).

De lo anterior se desprende, que el productor lechero toma decisiones de inversión en semen basándose en información sesgada, poco confiable e imprecisa, y no representativa de la realidad chilena. Esto podría tener repercusiones en la rentabilidad de su negocio como consecuencia de

una sobrevaloración, subvaloración o incluso desconocimiento de la estimación del retorno económico producto de un programa de mejoramiento determinado.

Wilcox (1984) desarrolló un modelo que clasifica los toros según criterio de selección de máxima rentabilidad y contempla condiciones del predio particulares, como lapso ínter parto, tasa de mortalidad de hembras, política de selección según importancia relativa entre ingresos económicos por puntaje de conformación y producción de leche. El modelo consiste en un índice que incorpora el precio del semen y la tasa de interés real y está expresado como valor presente al momento de la inseminación. Expresa el mérito genético de un toro como el VAN de la inversión en semen de éste, en el momento de la inseminación y puede ser utilizado en programas de mejoramiento, cuyo criterio es la maximización de la rentabilidad (Wilcox *et al.*, 1984). Este método ha sido empleado para evaluar el sensibilidad de la rentabilidad de la inversión en semen en una serie de escenarios y frente a la variación de distintos factores, entre los que se cuentan: precio de la leche y respuesta a la selección en Latinoamérica (Holmann *et al.*, 1990), horizonte de planificación de la inversión y tasa de concepción al primer servicio (McMahon *et al.*; 1985), intensificación de la selección para conformación (Blake *et al.*, 1987), costos de error en selección (Short *et al.*, 1987) y precio del semen en toros jóvenes versus toros con evaluaciones genéticas comprobadas (McMahon *et al.*, 1985).

El modelo publicado por Rogers (1990) es un índice que calcula la utilidad y el riesgo de la inversión en semen considerando mérito genético para producción, profundidad de ubre, posición de pezones, ángulo del pie, costo del semen y repetibilidad de las características productivas. Dicho índice proporciona el mérito neto esperado por dosis de semen (no por lactancia como en el caso anterior), como desviación de la respuesta esperada entre inseminación artificial y monta natural. Los costos del mejoramiento también se expresan en iguales términos, aquí los parámetros reproductivos del rebaño se consideran en forma indirecta, ya que se incorpora solamente el número de dosis necesarias para obtener un reemplazo vivo en el rebaño. Los autores de este trabajo compararon éste índice con otros métodos de selección disponibles midiendo la correlación entre los ranking generados. El modelo desarrollado por Wilcox *et al.* (1984) presentó las correlaciones más altas: entre 0,62 y 0,88 dependiendo de la importancia relativa en producción versus conformación para la situación base. Estas diferencias fueron atribuidas al hecho que ambos métodos utilizan distintos indicadores en características de conformación.

De acuerdo a los antecedentes presentados, es factible utilizar un índice para ordenar por VAN toros destinados al mejoramiento genético de rebaños en Chile, estableciendo parámetros adecuados a la realidad de nuestro país (parámetros reproductivos, tasa de interés, precios de insumos y productos) e incorporando ponderadores según las necesidades del estudio, como por ejemplo el coeficiente de respuesta a la selección ( $\beta$ ). La ventaja del VAN como criterio de selección, es que además de estimar en forma directa los retornos de la inversión de los toros jerarquizados, sus resultados son susceptibles de ser sometidos a técnicas de análisis de sensibilidad.

El presente trabajo tuvo por finalidad, desarrollar un modelo para analizar bajo condiciones chilenas la rentabilidad de la inversión en mejoramiento genético del ganado bovino lechero y los factores que la afectan. Los objetivos específicos fueron:

- 1) Construir y validar un modelo económico que permita evaluar la inversión de material genético en ganado bovino lechero.
- 2) Conocer el efecto de la respuesta a la selección sobre la rentabilidad de la inversión en semen.
- 3) Determinar la relación entre rentabilidad y precio del semen bajo condiciones chilenas a nivel general y por nivel productivo.
- 4) Establecer la relación entre rentabilidad de la inversión en semen e indicadores de mérito genético.
- 5) Conocer la sensibilidad de la rentabilidad de la inversión en semen al cambio de fertilidad del rebaño.

## **MATERIAL Y MÉTODO**

Los datos que se utilizaron en el cálculo corresponden a PTA para producción de leche, grasa, proteína y conformación y TPI (Índice de Rendimiento Total) de toros evaluados en Estados Unidos, cuyo semen estaba disponible para la venta en Chile (Tabla 1). El valor de la inversión corresponde al precio nominal de la dosis de semen (ODEPA; 2004). La rentabilidad de la inversión en semen, fue expresada como VAN de la contribución genética de un toro a su descendencia, la que se calculó mediante la construcción de un modelo basado en el índice lineal de mérito neto (Wilcox *et al.*, 1984) y una función para calcular la utilidad del semen (Rogers, 1990).

El modelo considera parámetros reproductivos dependientes de las condiciones de manejo, los cuales permiten actualizar los flujos generados como consecuencia del mejoramiento gené-

tico a nivel de rebaño, ya que consideran el tiempo transcurrido desde la inversión en semen hasta la ocurrencia de las distintas etapas del ciclo productivo.

Tabla 1. Valor del semen e indicadores de mérito genético de 46 toros Holstein Norteamericanos disponibles para la venta en Chile.

	Promedio	DE	Mín.	Máx.
Precio semen (\$/dosis)	9.889	3.349	4.245	25.582
PTA leche (kg)	751	194,6	306	1.210
PTA grasa (kg)	23,4	6,58	12,25	39,92
PTA proteína (kg)	22,4	5,06	12,70	36,74
PTA conformación	1,18	0,452	0,19	2,09
PTA% proteína	0,002	0,040	-0,08	0,09
PTA% grasa	-0,03	0,08	-0,15	0,13
TPI <sup>1</sup>	1.480	111	1.233	1.774

<sup>1</sup>Disponible sólo en 44 de los 46 toros.

El estudio consideró sólo una generación de descendientes, con tres lactancias de vida útil como horizonte de planificación (5 a 6 años), debido a que las condiciones económicas son inciertas para períodos más prolongados, como consecuencia de cambios en el precio de la leche, los costos de alimentación y la tasa de interés real (Holmann *et al.*, 1990). Los *PTA* para leche, grasa y proteína se ponderaron por los correspondientes coeficientes de regresión, según el nivel productivo del predio o el coeficiente general para el país (Holmann *et al.*, 1990), de manera de corregir el efecto de interacción genotipo ambiental.

En la construcción del modelo se utilizaron los siguientes supuestos:

- i. El VAN de la inversión en semen corresponde al valor actualizado de los ingresos marginales generados como consecuencia de la introducción de nuevo material genético en el rebaño, al que se le sustrajeron los costos de producción (alimentación) y los costos de inversión en semen. No se consideró otros costos incrementales como materiales de inseminación o mano de obra, ya que éstos son independientes del semen utilizado.
- ii. Las vacas del rebaño solamente son cubiertas mediante inseminación artificial.

- iii. El modelo asume que la introducción de este nuevo material genético, se lleva a cabo en vacas con valor aditivo promedio igual a cero.
- iv. El programa de mejoramiento busca reemplazar a todas las madres del rebaño por las hijas de un sólo toro. Este supuesto permite asumir que la respuesta productiva promedio de las hijas de ese toro (PTA) es igual al promedio del rebaño mejorado, condición necesaria para estimar el diferencial de producción del predio mejorado a partir del mérito genético del toro y del promedio del rebaño antes del mejoramiento.
- v. Las respuestas reproductivas, que determinan los tiempos de generación de los flujos de caja y el monto de la inversión, se estiman en base a parámetros prediales.

La fórmula general del VAN proyectado a “n” lactancias y una generación de descendientes como horizonte de planificación es:

$$VAN_j = \frac{1}{N} * \sum_{k=1}^n \left[ (IMg_{L_{jk}} + IMg_{C_{jk}} - CMg_{jk}) * (1+i)^{-t_k} \right] - Inv_j$$

En donde:

$VAN_j$ : Valor actual neto de la inversión de una dosis de semen del toro j al momento de la inseminación.

$\sum_{k=1}^n$  : Sumatoria de los k períodos de lactancia (k =1,...n) en que se incurrirá en gastos o devengará ingresos, según corresponda.

$IMg_{L_{jk}}$ : Ingreso bruto marginal en la lactancia k, según PTA para leche, grasa y proteína corregidos por lactancia y respuesta a la selección según nivel productivo del predio (Holmann *et al.*, 1990).

$IMg_{C_{jk}}$ : Ingreso marginal esperado por lactancia debido al mejoramiento de conformación del toro j. Estos ingresos son dependientes de la fuente de ingresos y los objetivos de mejoramiento de cada productor.

$CMg_{jk}$ : Costo marginal por concepto de alimentación, expresado como porcentaje del ingreso marginal generado por el mejoramiento de la producción de leche, grasa y proteína en la lactancia k de la hija del toro j.

$Inv_j$ : Inversión de una dosis de semen, la que corresponde al precio de la dosis de semen del toro j ( $Pxs_j$ )

$i$  : Tasa de interés real.

$t_k$ : Tiempo transcurrido en años desde la inseminación de la madre hasta el momento en que se genere el flujo de caja correspondiente, en el punto medio de la lactancia  $k$  de la hija del toro  $j$ .

La respuesta a la selección depende del nivel productivo del rebaño. Para simular rebaños chilenos, se utilizó registros efectuados entre 1992 y 1998, correspondientes a 24.588 primeras lactancias ajustadas a 305 días, en la IX y X Región por Cooprinsem Osorno. Los registros incluyen producción de leche, grasa y proteína; y fueron analizados estadísticamente por Verdugo (2002). Se utilizaron los promedios para cada nivel de producción, el promedio poblacional de todas las lactancias y los respectivos coeficientes de respuesta a la selección ( $\beta$ ). Lo anterior, permitió establecer una población para simular de mejoramiento genético (Tabla 2).

Tabla 2 Promedios de primeras lactancias de la IX y X regiones para leche, grasa y proteína y coeficientes de regresión de respuesta a la selección ( $\beta$ ) según nivel de producción.

Nivel productivo	Rango de producción de leche (kg)	Promedio de producción (kg)			$\beta$		
		Leche	Grasa	Proteína	Leche	Grasa	Proteína
NP1	<7.000	6.457	238	203	0,485	0,452	0,437
NP2	7.000<9000	7.692	281	243	0,561	0,611	0,618
NP3	9.000<11000	9.912	350	316	0,925	0,551	1,022
NP4	11.000<13.000	11.770	396	366	0,499	0,585	0,003
NP5	13.000<15.000	13.632	421	432	1,460	0,606	2,232
<b>General</b>	<b>2.697–17.167</b>	<b>7.548</b>	<b>274</b>	<b>241</b>	0,567	0,545	0,596

Fuente: Verdugo 2002.

La respuesta productiva esperada, producto del mejoramiento genético de un rebaño, no depende solamente del mérito genético del semental seleccionado. El promedio de la población a la que pertenece el rebaño, las condiciones ambientales y de manejo del predio (nivel productivo), el efecto de la interacción genotipo ambiental ( $\beta$ ) y el número de lactancia son factores que participan en la expresión de las características productivas mejoradas. Considerando lo anterior y con la información recopilada por Verdugo (2002), se estimó la respuesta esperada (RE) a partir de la siguiente fórmula:



$$RE_{jkl} = \mu + ENP_l + EL_k + PTA_j * \beta_l$$

Donde:

RE<sub>jkl</sub>: Respuesta esperada promedio para leche, grasa o proteína (RE<sub>l<sub>jkl</sub></sub>, RE<sub>g<sub>jkl</sub></sub>, RE<sub>p<sub>jkl</sub></sub>) de las hijas del toro j, en la lactancia k y en el nivel productivo l, expresada como desvío del promedio poblacional.

μ: Promedio poblacional.

ENP<sub>l</sub>: Efecto nivel productivo l del rebaño mejorado.

EL<sub>k</sub>: Efecto de la lactancia k.

PTA<sub>j</sub>: Efecto del PTA del toro j.

β<sub>l</sub>: Coeficiente de regresión de la respuesta de las hijas sobre el PTA del toro correspondiente al nivel productivo l, para simular el efecto de interacción genotipo ambiental (Verdugo 2002).

El ingreso marginal por conformación (IMgC<sub>jk</sub>), se calcula de la siguiente manera:

$$IMgC_{jk} = w \left( \left( \frac{PTAc_j}{\sigma_{PTAc}} \right) * \sigma_{IMgL_k} \right)$$

Donde:

PTAc<sub>j</sub>: PTA de conformación del toro j.

σPTAc: Desviación estándar de PTAc del grupo de toros evaluados.

σIMgL<sub>k</sub>: Desviación estándar de IMgL<sub>k</sub> en la lactancia k de la población de toros evaluados en el estudio.

w: Parámetro que pondera la importancia económica de PTAc en relación a la importancia de la producción de leche expresado como ingreso bruto marginal (IMgL: PTAc).

El valor de los t<sub>k</sub> depende de los siguientes parámetros prediales: Lapso íter parto; edad al primer parto, duración de la lactancia, momento de nacimiento del reemplazo y duración de la lactancia. El tiempo transcurrido desde la compra del semen y el punto medio de la lactancia del reemplazo esta expresado por:

$$t_k = TNREEM + EPP + (k - 1) * LIP + DLAC / 2$$

En donde:

TNREEM: Tiempo transcurrido en años entre la compra de semen y el tiempo promedio de nacimiento del reemplazo.

LIP: Lapso interparto promedio en el rebaño expresado en años.

EPP: Edad al primer parto promedio en años en el rebaño.

DLAC/2: Punto medio del período de lactancia promedio del rebaño expresado en años.

Se asume que la adquisición de la dosis se hace efectiva al comienzo del LIP en que se obtiene la cría, y que para obtener una hembra promedio se necesitan 2 LIP ya que en cada parto la probabilidad de que nazca una hembra es de un 50%. Así, la mitad de los reemplazos se obtendrá 1 LIP después de la compra de semen y la otra mitad se obtendrá al final del segundo LIP. El punto medio entre ambos corresponde a TNREEM, es decir 1,5 veces el LIP.

Para validar el modelo se estimaron las correlaciones de ranking de Spearman para rentabilidad y TPI obtenidos a través del modelo propuesto, con los valores de Valor Presente en Dólares (PV\$) estimado mediante el modelo de Wilcox *et al.*(1984) y la Utilidad Neta de la Dosis de Semen (SU) utilizando el modelo de Rogers (1990). En todos los casos se simuló las condiciones de pago de la leche y grasa, tasa de interés y valor relativo de conformación establecidos por McMahon *et al.* (1985) actualizando al valor promedio del dólar observado 2003; se estimó el precio de proteína manteniendo su importancia relativa con respecto a grasa, de acuerdo a la ponderación para el cálculo de TPI publicado por la asociación Holstein de Estados Unidos (Holstein Association, 2003). Esto debido a que el modelo desarrollado por Wilcox no considera el sólido mencionado.

Para construir una situación base se utilizaron los parámetros que se muestran en la Tabla 3 y una relación de importancia IMgL:PTAc =3:1 ( $w= 0,33$ ). En la situación base, fue analizado el efecto de la respuesta a la selección sobre la rentabilidad y la correlación de ranking por VAN y criterios de selección. Para el análisis de sensibilidad del VAN a la fertilidad del rebaño, se modificó solamente el Porcentaje de Preñez Total (PPT) según lo descrito más adelante.

Tabla 3. Parámetros utilizados en la simulación de la situación base.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Porcentaje de preñez total (%)	40
Tasa de mortalidad (%)	5
Intensidad de selección en conformación (w)	0,33
Edad al primer parto (meses)	31,3
Lapso inter parto (meses)	12,3
Duración de la lactancia (días)	305
Tasa de interés real anual (%)	10

## RESULTADOS

### Validación del modelo

Los coeficientes de correlación entre los indicadores de mérito genético y VAN así como con el índice de utilidad del semen desarrollado por Rogers (1990) se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Correlaciones de ranking para los indicadores de mérito genético con rentabilidad según VAN y SU (Rogers, 1990).

	PPT =40% w =0,3	N =5	<b>Diferencia</b>
	VAN	SU <sup>1</sup>	<b>VAN-SU</b>
TPI	0,67	0,56	<b>0,11</b>
PTAI	0,70	0,68	<b>0,02</b>
PTAg	0,43	0,47	<b>-0,04</b>
PTAp	0,60	0,59	<b>0,01</b>
PTA%g	-0,24	-0,19	<b>-0,05</b>
PTA%p	-0,23	-0,25	<b>0,02</b>
PTAc	0,08	-0,12	<b>0,20</b>

Las correlaciones para los rankings ordenados por VAN y SU con los indicadores de mérito genético fueron similares para ambos modelos, presentando diferencias muy bajas que fluc-

túan entre -0,05 y 0,02 para los PTA de producción; sin embargo al comparar las correlaciones de ranking entre VAN-PTAc y SU-PTAc la diferencia resultó mayor (0,2) y de signo contrario. Del mismo modo, se aprecia una desigualdad de 0,11 al comparar ambos índices con los rankings por TPI. Las diferencias mencionadas se explican porque SU utiliza para el cálculo del valor de conformación, STA (*Standardized transmitting abilities*) de profundidad de ubre, altura del pezón y ángulo del pie; en cambio VAN emplea puntaje final para PTA de conformación.

Para demostrar que las diferencias de correlación con el ranking por TPI entre SU y VAN no se contradicen con la similitud presentada para correlaciones con características productivas, se comparó el coeficiente de correlación PV\$-TPI con VAN-TPI ya que ambos índices utilizan igual método de valoración del mérito por conformación (Tabla 6). Para estimar si la magnitud de la diferencia entre VAN y SU por efecto de la valoración de conformación corresponde a la esperada, se observa la correlación entre PV\$ y SU bajo las mismas condiciones de fertilidad e importancia relativa de conformación.

Tabla 6. Correlación de ranking PV\$-SU, PV\$-TPI y VAN-TPI.

	SU (N =5)	TPI
PV\$ (PPT= 40% w= 0,33)	0,82	-
PV\$ (PPT =50% w =0,33 CMg=45% IMgL)	-	0,64
VAN (PPT =50% w =0,33 CMg= 45% IMgL)	-	0,68

Al comparar la correlación entre PV\$-TPI y la correlación VAN-TPI en iguales condiciones de fertilidad (PPT=50%) se observa una diferencia en el coeficiente de correlación de apenas 0,04. Las correlaciones con TPI de ambos índices se asemejan más entre sí que con SU porque los primeros utilizan el mismo indicador de mérito genético para conformación. Esto es confirmado en el trabajo de Rogers (1990), que al correlacionar los rankings generados por su modelo (SU) y PV\$ en similares condiciones de fertilidad, (PPT=40% para PV\$ y N=5 para SU) obtiene un coeficiente de 0,82 y también concluye que la diferencia se debe en parte, a los indicadores utilizados en la valoración del mérito de conformación. Lo anterior, permitiría explicar la magnitud y el origen de la diferencia de las correlaciones de ranking SU-TPI y VAN-TPI (0,12), no siendo esta diferencia contradictoria con las similitudes de correlaciones de ranking para características productivas y por lo tanto la eficiencia del modelo para jerarquizar los toros por rentabili-

dad aparece respaldada.

### VAN de la inversión en semen

En la Tabla 7 se aprecia el VAN promedio de los toros utilizados en el estudio y los indicadores de dispersión del VAN por nivel productivo sin y con incorporar el efecto de Interacción Genotipo Ambiental (IGA). Se observa una disminución notable de la rentabilidad promedio al incorporar el coeficiente de regresión de la respuesta a la selección. El VAN por dosis de semen representa sólo un 26,8% del valor esperado en la situación sin IGA ( $\beta=1$ ). Stanton *et al.* (1990) determinaron que los retornos económicos promedio de toros Norteamericanos al mejorar rebaños mexicanos asumiendo un coeficiente de respuesta a la selección para producción de leche de 0,54 equivalen al 40% de los retornos económicos obtenidos en Estados Unidos con un coeficiente igual a 1. Esta diferencia con el resultado obtenido por Stanton *et al.*, podría estrecharse si se tiene en cuenta que este estudio consideró IGA para producción de grasa y proteína.

Tabla 7. Promedios, rangos y coeficientes de variación del VAN de la inversión en semen según nivel productivo, sin y con incluir el efecto IGA de leche, grasa y proteína

	Sin IGA ( $\beta=1$ )				Con IGA			
	Promedio	Min.	Máx.	C. V.	Promedio	Min.	Máx.	CV.
NP1	14.386	1.805	21.607	27,7	1.493	-12.730	6.564	207,1
NP2	14.282	1.737	21.130	27,5	4.028	-9.789	8.873	77,2
NP3	14.168	1.658	20.556	27,3	11.755	-867	17.572	31,7
NP4	14.318	1.734	21.265	27,5	1.560	-12.991	6.806	206,2
NP5	14.091	1.591	20.349	27,3	26.663	5.421	36.211	20,3
General	14.240	1.713	20.859	27,4	3.823	-10.019	8.716	81,8

En cuanto a la variabilidad del VAN entre los toros se puede observar un aumento considerable en relación a la situación sin efecto IGA. Este comportamiento se repite en casi todos los niveles productivos, salvo en NP5 donde el parámetro de dispersión disminuye. Además, se evidencia una clara relación inversa entre los promedios de VAN por nivel productivo y los correspondientes coeficientes de variación cuando se considera el efecto IGA. De lo anterior, se puede

afirmar que menores coeficientes de respuesta a la selección generan una mayor dispersión del VAN dentro de un mismo nivel productivo, porque el promedio del VAN por nivel productivo disminuye en una proporción mucho mayor que la desviación estándar del mismo. La causa de esto radica en parte, en que el valor de la inversión en semen se mantiene constante, haciéndose cada vez más influyente como fuente de variación a medida que el ingreso marginal disminuye.

### Efecto de la respuesta a la selección sobre el VAN

El Gráfico 1 muestra el coeficiente de regresión de la respuesta productiva de las hijas de un toro sobre su PTA ( $\beta$ ) y el VAN promedio esperado de los toros utilizados en el estudio al ser introducidos en cada uno de los niveles productivos. Se aprecia claramente, que la diferencia del VAN entre niveles productivos se encuentra determinado por el  $\beta$  de leche, y en menor medida por el de proteína, no estando muy clara la participación de la respuesta para grasa en el comportamiento de la rentabilidad. Es llamativa la situación que surge en NP4 en donde existe una fuerte reducción de los coeficientes de respuesta, lo que genera una caída brusca en el VAN.

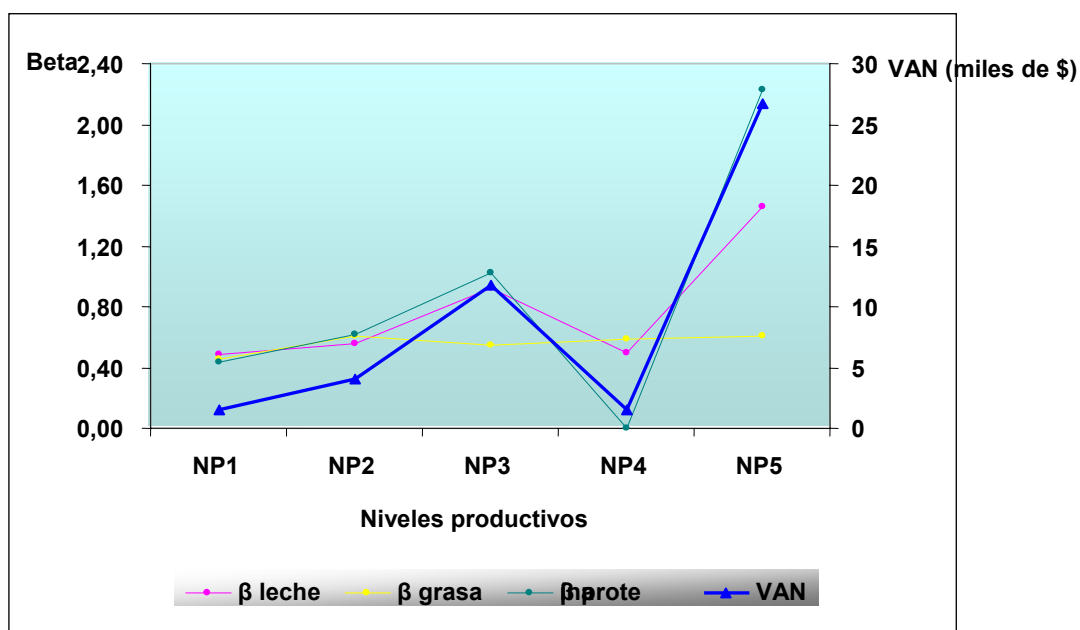


Gráfico 1 Promedio del VAN de todos los toros y los  $\beta$  a través de los niveles productivos.

## Correlación de ranking por VAN entre presencia y ausencia de IGA

Para determinar si existen cambios importantes en el ordenamiento de los toros según VAN por efecto de la IGA, fue determinada la correlación de rankings por VAN entre la situación con IGA y sin IGA (Tabla 8).

Tabla 8. Correlación de ranking de Spearman por nivel productivo para VAN entre la situación de presencia y ausencia de efecto IGA.

	NP1	NP2	NP3	NP4	NP5	General
Correlación	0,79	0,89	0,99	0,84	0,93	0,89

Los resultados expuestos no coinciden del todo con lo encontrado en otros países de Latinoamérica, en donde se ha determinado que un coeficiente de respuesta a la selección de 0,75 en vez de 1 genera cambios significativos en el ordenamiento de los toros por PV\$ (Blake *et al.*, 1988, citado por Verdugo, 2002). Esto se explica porque en Chile, a diferencia de otros países, el pago de sólidos se hace efectivo sólo en el caso de superar el porcentaje mínimo establecido en la pauta de pago. Como consecuencia de lo anterior, la variación en la respuesta de la producción de grasa y proteína no tienen el impacto esperado en la rentabilidad de la inversión en semen, lo que hace que al variar el coeficiente de respuesta a la selección, el cambio en el ranking por VAN sea menor al observado en estudios de otros países de Latinoamérica.

## Correlación de rankings por VAN y criterios de selección.

En la Tabla 9 se presenta los coeficientes de correlación entre los rankings según distintos criterios de selección y VAN. Se observa que las correlaciones en su mayoría son negativas, presentando signo positivo solamente la correlación del VAN con PTAl y PTAp, siendo esta última prácticamente 0. En el nivel general, la correlación de ranking por VAN y precio del semen resulta ser alta y negativa (-0,66), lo que corrobora la fuerte influencia negativa del valor de la inversión sobre los retornos económicos netos. En cuanto a los indicadores de mérito genético, el que presenta mayor correlación con rentabilidad (VAN) es PTAl con un índice de 0,37 a nivel general. Es posible apreciar también que la correlación entre rentabilidad y PTAl aumenta junto con la respuesta a la selección para PTAl de cada nivel productivo. En el caso de PTAg se observan co-

relaciones negativas en todos los niveles productivos, pero más cercanas a cero en los niveles con mayor  $\beta$  en producción de grasa. El PTA<sub>p</sub> demuestra ser levemente mejor indicador del mérito por rentabilidad que la grasa. Esto se manifiesta en que el único nivel en donde la correlación es negativa es NP4 (-0,04), aunque en NP1 y en NP2 son muy cercanas a esa cifra. En NP3 y NP5 los índices de correlación son de 0,15 y 0,27 respectivamente. Lo anterior indica que existe una relación positiva entre el índice de correlación con VAN y el valor de  $\beta$ , al igual que en el caso de los dos indicadores anteriores. La correlación de ranking entre VAN y PTA de conformación, se mantiene cercana a cero en todos los niveles productivos; negativa en el caso de los niveles productivos con cotas de rentabilidad más baja (NP1, NP2 y NP4) y positiva en NP3 y NP5.

Tabla 9. Correlación de ranking de entre VAN, indicadores de mérito genético y precio del semen por niveles productivo y en general.

	Nivel productivo					General
	NP1	NP2	NP3	NP4	NP5	
PTA <sub>I</sub>	0,27	0,37	0,58	0,32	0,73	0,37
PTA <sub>g</sub>	-0,20	-0,16	-0,13	-0,14	-0,07	-0,18
PTA <sub>p</sub>	0,01	0,07	0,15	-0,04	0,27	0,07
PTA <sub>c</sub>	-0,09	-0,06	0,03	-0,04	0,13	-0,06
PTA <sub>g</sub> %	-0,46	-0,50	-0,61	-0,45	-0,66	-0,52
PTA <sub>p</sub> %	-0,40	-0,45	-0,56	-0,50	-0,57	-0,45
TPI	-0,18	-0,10	0,04	-0,17	0,27	-0,11
Valor semen (\$/dosis)	-0,72	-0,65	-0,43	-0,63	-0,11	-0,66

Al correlacionar los rankings por VAN con los rankings de PTA% de ambos sólidos, los índices son altos y negativos, siendo el PTA% el más cercano a 0 de los dos, situación esperable ya que en el caso de los PTA<sub>g</sub> y PTA<sub>p</sub>, la correlación de este último es superior al primero. El alto valor negativo de la correlación de PTA% con VAN se explica por la correlación negativa que existe entre los toros ordenados por PTA de leche con PTA<sub>g</sub>% y PTA<sub>p</sub>% (-0,61 y -0,53 respectivamente). Los rankings por TPI resultan ser mal estimador de los rankings por rentabilidad en las condiciones simuladas, ya que el coeficiente de correlación se hace positivo solamente en NP3 y



NP5 con valores muy cercanos a 0 en el primer caso y un poco mayor en el segundo. Para cada nivel productivo, el valor de la inversión demuestra ser el factor más influyente en la rentabilidad, ya que presenta correlaciones negativas altas, especialmente en los niveles con menor nivel de respuesta a la selección. El índice de correlación se acerca más a cero en niveles con mejores respuestas, pero nunca alcanza esta cifra.

### **Sensibilidad del VAN a los cambios de fertilidad.**

La Tabla 10 proporciona información de los resultados obtenidos acerca de la sensibilidad del VAN a cambios en la fertilidad del rebaño. El VAN a nivel general fluctúa entre \$-3.000 y \$7.300 por dosis de semen cuando el PPT varía entre un 20 y un 50%; al mismo nivel la rentabilidad es negativa frente a una fertilidad menor al 30%, lo que se repite en NP2. En NP1 y NP4 se observa rentabilidad negativa por debajo del 35% de fertilidad, alcanzando valores muy cercanos a cero cuando el PPT es igual al 35%.

Al observar los cambios en el VAN a partir de la fertilidad asumida en la situación base (PPT=40), vemos que cambios de un 5% en el PPT afectan en un 93% la rentabilidad en NP1, 45% en NP2, 23% en NP3, 87% en NP4, 17% en NP5 y en un 45% a nivel general. La variación es la misma en ambos sentidos y la relación entre VAN y fertilidad es lineal. Por ejemplo, modificaciones de un 10% en PPT afectan en un 200% la rentabilidad en NP1, obteniéndose igual efecto en todos los niveles productivos. Lo anterior demuestra que los niveles productivos en los cuales el VAN es más sensible a los cambios de fertilidad son NP1 y NP4, es decir aquellos que presentan los menores coeficientes de respuesta a la selección.

Tabla 10. VAN promedio de los 46 toros bajo distintas condiciones de fertilidad del rebaño, según porcentaje de preñez total (PPT) por nivel productivo (en miles de \$).

Nivel productivo	Fertilidad del rebaño (PPT)						
	20	25	30	35	40	45	50
NP1	-4,2	-2,8	-1,4	0,1	<b>1,5</b>	2,9	4,3
NP2	-2,9	-1,2	0,5	2,3	<b>4,0</b>	5,8	7,5
NP3	0,9	3,6	6,3	9,0	<b>11,8</b>	14,5	17,2
NP4	-4,2	-2,7	-1,3	0,1	<b>1,6</b>	3,0	4,4
NP5	8,4	13,0	17,5	22,1	<b>26,7</b>	31,2	35,8

<b>General</b>	-3,0	-1,3	0,4	2,1	<b>3,8</b>	5,5	7,3
----------------	------	------	-----	-----	------------	-----	-----

## CONCLUSIONES

El ordenamiento de toros por VAN demostró ser un método de selección eficiente cuando el objetivo es maximizar la rentabilidad de la inversión en mejoramiento genético. además, se observó que El VAN promedio de los toros disminuye a medida que decrece el coeficiente de respuesta a la selección ( $\beta$ ).

Bajo condiciones generales de rebaño chilenas, las evaluaciones realizadas en el país de origen de toros norteamericanos, sobrestiman los retornos económicos netos de la inversión en semen y generan cambios en los rankings por VAN, si no se considera el efecto de IGA.

La relación positiva entre VAN y nivel productivo por lactancia no está totalmente clara, ya que según los antecedentes existentes en Chile, no siempre se observa una mejor respuesta a la selección en los niveles productivos más altos (Verdugo, 2002). Debido a esto, sólo es posible en este caso asegurar una relación positiva del VAN, con el coeficiente de regresión de respuesta a la selección.

La correlación de ranking observada, entre el ordenamiento por precio de la dosis de semen y VAN, indican que la inversión en semen de mayor valor genera una disminución de la rentabilidad y que este fenómeno se acentúa, cuando la respuesta a la selección disminuye.

Los indicadores de mérito genético, son un mal estimador de los retornos económicos netos por concepto de inversión en semen y aún peor cuando el coeficiente de respuesta a la selección ( $\beta$ ) es menor a 1.

El VAN de la inversión en semen decrece a medida que la fertilidad del rebaño se deteriora y la sensibilidad del VAN frente a cambios en la última, es mayor en los niveles productivos con menor grado de respuesta a la selección.

## RESUMEN

Se construyó un modelo económico para estimar la rentabilidad de la inversión en mejoramiento genético en ganado bovino lechero bajo cinco condiciones productivas chilenas. Para tal efecto, se elaboró un índice que expresa la rentabilidad de una dosis de semen de un toro como valor actual neto (VAN) al momento de la inseminación. El cálculo del índice considera precio

del semen, de la leche, grasa y proteína, tasa de interés real, mérito genético para características lecheras y de conformación, costos de producción y parámetros reproductivos. El modelo fue usado para (1) conocer el efecto de la interacción genotipo ambiental (IGA) sobre la rentabilidad de la inversión en semen, (2) la relación entre VAN, precio del semen e indicadores de mérito genético y (3) la sensibilidad del VAN a cambios en la fertilidad del rebaño. Los resultados del estudio indican que el factor más determinante en la rentabilidad es el precio del semen y que el PTA para leche es el mejor estimador de rentabilidad dentro de los indicadores de mérito genético. El mejoramiento por sólidos y la inversión en semen de alto precio sólo resultó rentable en aquellos niveles de producción en que los coeficientes de respuesta a la selección fueron más altos.

Palabras clave: índice de rentabilidad, interacción genotipo ambiental, precio semen.

## LITERATURA CITADA

- APROLECHE. 2003. Resumen de pauta de pago de leche para la compra que SOPROLE realiza a los actuales productores de leche en las plantas de la novena y décima regiones. [en línea]<<http://www.aproleche.cl/precios/soprole.php>> [consulta: 21-12-2003].
- Banco Central. 2003. Importaciones: consultas por Ítem-país en dólares (CIF). Ítem 05111000. [base electrónica de datos]. Banco Central de Chile, Departamento de Publicaciones. Santiago, Chile. [consulta: 07-01-2003]
- Barría N.; R. Verdugo; T. Tuohy y A. Jara. 2002. Respuesta a la selección por producción láctea de toros IA Holstein de Estados Unidos en una población de vacas Holstein en Chile **In:** XXVII Reunión Anual Sociedad Chilena de Producción Animal. Chillán 2, 3 y 4 de Octubre de 2002. pp. 197-198
- Blake, R.; C. Shumway; R. MacMahon. 1987. Opportunity cost of tipe score for alternative milk-to-type Holstein sire selection policies. *J. Dairy Sci.* 70: 1267-1273.
- Falconer, D. S. 1970. Introducción a la genética cuantitativa. Primera edición en español. Editorial Continental, México.
- Groen, A. F. 1988. Derivation of economic values in cattle breeding: A model at farm level. *Agricultural Systems.* 27: 195-213.
- Groen, A. F. 1989 a. Economic values in cattle breeding. I. Influences of production circumstances in situations without output limitations. *Livest. Prod. Sci.* 22: 1-16.

- Groen, A. F. 1989 b. Economic values in cattle breeding. II. Influences of production circumstances in situations with output limitations. *Livest. Prod. Sci.* 22: 17-30.
- Holmann, F.; R. Blake, R. Milligan; R. Barker; P. Oltenacu y M. Hahn. 1990. Economic returns from United States artificial insemination sires in Holstein herds in Colombia, México y Venezuela. *J. Dairy Sci.* 73: 2179-2189.
- Holstein Association USA, Inc. 2003. Holstein Type-Production Sire Summaries. Vermont USA. 192 p.
- McMahon R.; R. Blake; C. Shumway; D. Leatham; M. Tomaszewski; K. Butcher. 1985. Effects of planning horizon and conception rate on profit-maximizing selection of artificial insemination sires. *J. Dairy Sci.* 68: 2295-2302.
- ODEPA. 2004. Industria láctea. [en línea]. <http://www.odepa.gob.cl/> [consulta: 02-03-2004].
- Rogers, G. 1990. A utility function for ranking sires that considers production, linear type traits, semen cost and risk. *J. Dairy Sci.* 73: 532-538.
- Servicio Nacional de Agricultura. 2000. Costos de producción de leche. *El Campesino*. 31 (1): 10-12.
- Short, T.; R. Blake; C. Shumway; M. Tomaszewski. 1987. Milk yield, sire selection profitability and selection error costs. *J. Dairy Sci.* 70: 2112-2115.
- Stanton, T.; R. Blake; R. Quaas; L. Van Vleck; M. Carabaño. 1991. Genotype environment interaction for holstein milk yield in Colombia, México and Puerto Rico. *J. Dairy Sci.* 74: 1700-1714.
- Stanton, T.; R. Blake; R. Quaas; L. Van Bleck. 1991. Response to selection of United States Holstein sires in Latin America. *J. Dairy Sci.* 74: 651-664.
- USDA-Animal Improvement Programs Laboratory. 2003. Complete bull evaluation list for Holstein November 2003. [en línea] <http://www.aipl.arsusda.gov/dynamic/complete/Cframe.htm> [consulta: 24-11-2003].
- Verdugo, R. 2002. Respuesta a la selección por producción láctea de toros Holstein de Estados Unidos en Chile y Argentina. Memoria para optar al título profesional de Médico Veterinario. Santiago, Chile. U. de Chile, Fac. Ciencias Veterinarias y Pecuarias. 84 p.
- Wilcox, M.; C. Shumway; R. Blake y M. Tomaszewski. 1984. Selection of artificial insemination sires to maximize profits. *J. Dairy Sci.* 67: 2407-2419.