



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS

ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS



“MODELO ECONÓMICO PARA EL ANÁLISIS DE
RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN EN MEJORAMIENTO
GENÉTICO DE GANADO BOVINO LECHERO:
FORMULACIÓN Y APLICACIÓN BAJO CIERTAS
CONDICIONES CHILENAS”.

FERNANDO CATALÁN PINO

Memoria para optar al Título
Profesional de Médico Veterinario.
Departamento de Fomento de la
Producción Animal.

PROFESOR GUÍA: CLAUDIUS KÖBRICH G.

SANTIAGO, CHILE

2005



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS

ESCUELA DE CIENCIAS VETERINARIAS



“MODELO ECONÓMICO PARA EL ANÁLISIS DE RENTABILIDAD DE LA INVERSIÓN EN MEJORAMIENTO GENÉTICO DE GANADO BOVINO LECHERO: FORMULACIÓN Y APLICACIÓN BAJO CIERTAS CONDICIONES CHILENAS”.

FERNANDO CATALÁN PINO

Memoria para optar al Título Profesional de Médico Veterinario.
Departamento de Fomento de la Producción Animal.

NOTA FINAL:.....

		NOTA	FIRMA
PROFESOR GUÍA	: CLAUDIUS KÖBRICH G.
PROFESOR CONSEJERO	: VÍCTOR MARTÍNEZ
PROFESOR CONSEJERO	: CARLOS NÚÑEZ

SANTIAGO, CHILE

2005

“Lo más importante me lo enseñaste tú”.

A mi padre.

Agradecimientos

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a todos aquellos que hicieron posible la realización de esta memoria. Quiero agradecer a mi hermano Carlos y su esposa Cecilia, que gentilmente me proporcionaron un espacio de trabajo en su casa; a mi madre, que tuvo siempre interés en mis avances y en aportar con sugerencias; también a Katty que me apoyó y comprendió durante muchos meses.

Gracias a mi profesor consejero, Víctor Martínez que aportó con ideas útiles para mejorar ésta memoria, al Dr. Nelson Barría quien me facilitó el material científico para avalar el trabajo realizado. Al personal de Agrotec Ltda., los cuales colaboraron con información valiosa acerca de la realidad del mejoramiento genético de ganado bovino lechero en Chile.

Finalmente quisiera agradecer de manera especial a mi profesor guía, Claus Köbrich, quien tuvo siempre la mejor disposición para supervisar mi labor y apoyarme en lo que fuese necesario.

A todos ellos, muchas gracias.

“El trabajo desarrollado en esta memoria fue presentado en el I Congreso Regional de Economistas Agrarios, realizado en el mes de Noviembre de 2004 en Mar del Plata, Argentina”.

TABLA DE CONTENIDOS

1.- INTRODUCCIÓN.....	1
2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1.- Antecedentes económicos	3
2.1.1.- Importancia del Producto Interno Bruto Silvoagropecuario	3
2.1.2.- Importancia de la producción lechera en el PIB silvoagropecuario	5
2.2.- Antecedentes productivos del sector lechero	6
2.2.1.- Volumen de producción.....	6
2.2.2.- Productores de leche.....	7
2.2.3.- Factores productivos que afectan la rentabilidad de la lechería	8
2.3.- Mejoramiento genético como proyecto de inversión	10
2.3.1.- El proyecto de inversión y su evaluación.....	10
2.3.2.- Definición de un proyecto de mejoramiento genético	12
2.3.3.- Inversión en mejoramiento genético.....	13
2.3.4.- Valoración económica del mejoramiento genético	18
2.3.5.- Herramientas de selección	21
2.4.- Aplicación de modelos económicos en evaluación de mejoramiento genético	24
2.4.1.- Antecedentes generales.....	24
2.4.2.- Modelos propuestos	25
3.- OBJETIVOS.....	28
3.1.- Objetivo general	28
3.2.- Objetivos específicos	28

4.- MATERIAL Y MÉTODO	29
4.1.- Población de toros evaluada	29
4.2.- Descripción general	30
4.3.- Supuestos del modelo	31
4.4.- Construcción del modelo.....	32
4.4.1.- Formulación.....	32
4.4.2.- Estimación de la respuesta productiva	33
4.4.3.- Estimación de los flujos de caja.....	37
4.5.- Parámetros del modelo	44
4.5.1.- Tasa de interés.....	44
4.5.2.- Precio de la leche	44
4.6.- Validación.....	47
4.7.- Simulación	48
4.7.1.- Definición de la situación base	48
4.7.2.- Efecto de la respuesta a la selección sobre la rentabilidad	49
4.7.3.- Relación entre el precio del semen, VAN e indicadores de mérito genético.....	49
4.7.4.- Sensibilidad del VAN a la fertilidad.....	50
5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
5.1.- Validación del modelo.....	51
5.2.- .Caracterización de los niveles productivos sometidos a mejoramiento	53
5.2.1.- Producción promedio por lactancia y nivel productivo.....	53
5.2.2.- Precio promedio de la leche por nivel productivo	54
5.3.- Respuesta productiva esperada por nivel productivo	57
5.3.1.- Respuesta productiva sin efecto de Interacción Genotipo Ambiental.....	57

5.3.2.-	Respuesta esperada con efecto de Interacción Genotipo Ambiental	59
5.4.-	VAN de la inversión en semen	62
5.4.1.-	VAN promedio sin Interacción Genotipo Ambiental.....	62
5.4.2.-	VAN promedio con Interacción Genotipo Ambiental.....	63
5.4.3.-	Relación entre Interacción Genotipo Ambiental y VAN	66
5.5.-	Relación entre el precio del semen, VAN e indicadores de mérito genético	68
5.5.1.-	Relación entre precio del semen y rentabilidad	68
5.5.2.-	Relación entre indicadores de mérito genético y rentabilidad	71
5.5.3.-	Correlación de rankings por VAN y criterios de selección	84
5.6.-	Efecto de la fertilidad sobre el VAN	87
5.6.1.-	Valor de la inversión y fertilidad.....	87
5.6.2.-	Sensibilidad del VAN a los cambios de fertilidad.....	88
6.-	CONCLUSIONES.....	90
7.-	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

RESUMEN

Se construyó un modelo económico para estimar la rentabilidad de la inversión en mejoramiento genético en ganado bovino lechero, bajo ciertas condiciones productivas de rebaño en Chile. Para tal efecto, se elaboró un índice que expresa la rentabilidad de una dosis de semen de un toro, como el VAN al momento de la inseminación; dicho índice considera precio del semen, de la leche, grasa y proteína, tasa de interés real, mérito genético para características lecheras y de conformación, así como costos de producción y parámetros reproductivos.

Los objetivos específicos fueron: 1) validar el modelo elaborado, 2) conocer el efecto de la Interacción Genotipo Ambiental (IGA) sobre la rentabilidad de la inversión en semen, 3) determinar la relación entre VAN, precio del semen e indicadores de mérito genético bajo condiciones chilenas y 4) conocer la sensibilidad del VAN a cambios en la fertilidad del rebaño.

Se simuló el mejoramiento de 5 niveles productivos (NP) y una situación general a partir de datos reales provenientes de 24.588 primeras lactancias ajustadas a 305 días y 46 toros disponibles a la venta en Chile durante 2003.

Al comparar VAN con otros métodos como SU, las diferencias en el índice de correlación de los rankings de rentabilidad calculada por ambos métodos, con indicadores de mérito genético para producción de leche (PTAI, PTA_g, PTA_p, PTA_{%g} y PTA_{%p}), fluctuaron entre -0,05 y 0,02; para PTA_c la diferencia fue de 0,2 y de 0,11 para TPI. Al comparar VAN y PV\$ la diferencia en sus correlaciones con TPI fue de 0,04.

El VAN promedio de todos los toros evaluados, al incorporar los coeficientes de respuesta a la selección para simular el efecto IGA fue de \$3.823 en el nivel general, con valores promedio extremos de \$1.493 en NP1 y \$26.663 en NP5. La correlación de ranking por VAN a nivel general fue de 0,89 comparado con el escenario de ausencia de IGA.

Bajo condiciones generales de rebaño, el VAN promedio en miles de pesos de los 5 valores más altos y los 5 más bajos de los rankings por distintos criterios de selección fue respectivamente: 0,0 y 7,2 en el caso de ser ordenados por ranking de precio del semen; 6,4 y 0,4 por PTAI; 3,3 y 6,1 por PTA_g; 4,3 y 4,2 por PTA_p; 2,2 y 3,9 por PTA_c. Los VAN promedios en miles de pesos fueron de 0,7 y 5,5 en el primer y último grupo respectivamente, cuando el ranking se ordenó por TPI.

La correlación de ranking positiva más alta con VAN, la obtuvo el PTAI observándose un índice de 0,37. El índice negativo más alto se observó con precio del semen, cuyo valor fue de -0,66.

Al variar la fertilidad de un 20% a un 50% según porcentaje de preñez total, el VAN promedio en miles de pesos de todos los toros fluctuó entre -3,0 y 7,3

Los resultados del estudio indican que el factor más determinante en la rentabilidad es el precio del semen y el PTAI es el mejor estimador de rentabilidad dentro de los indicadores de mérito genético. Resultó rentable el mejoramiento por sólidos y la inversión en semen de alto precio sólo en aquellos niveles con coeficientes de respuesta a la selección más altos.

SUMMARY

It was built an economy model to estimate the profitability of the investment of genetic improvement on dairy milk bovine cattle, under certain productive herd conditions in Chile. For that purpose, it was drawn an index that shows the profitability of a bull's semen dose, like VAN at insemination moment; such index considers the price of the semen, milk, fat and protein, real interest rate, genetic merit for milk yield and type, as well as production costs and reproductive parameters.

Specific objectives were: 1) to validate the elaborated model, 2) to know the effect of genetic-environmental interaction (IGA) on the profitability of the semen investment, 3) to determine the relationship between VAN, semen price and genetic improvement indicators under chilean conditions and 4) to know the sensibility of VAN regarding herd fertility changes.

It was simulated the improvement of 5 productive levels (NP) and a general situation take 24,588 first lactation real data adjusted to 305 days and 46 bulls on sale in Chile throughout 2003.

Comparing VAN to other methods, such as SU, the differences in the correlation index of the profitability rankings calculated for both methods, with milk production genetic improvement indicators (PTAI, PTA_g, PTA_p, PTA_{%g} and PTA_{%p}), fluctuated between -0.05 and 0.02; PTA_c, the difference was 0.2 and 0.11 for TPI. Comparing VAN and PV\$ the difference in terms of correlations with TPI was 0.04.

The average VAN of all evaluated bulls, when incorporate the response to selection coefficient to simulate the IGA effect; was \$3,823 in the general level, with extreme average values of \$1,493 in NP1 and \$26,663 in NP5. Ranking correlation per VAN in general level was 0.89 compare to the ausence IGA scenario.

Under general herd conditions, the average VAN in terms of thousands of pesos of the highest values and the 5 lowest rankins, according to different types of selection criteria, it was: 0.0 and 7.2 accordingly in the case of being arranged by ranking of semen price; 6.4 and 0.4 per PTAI; 3.3 and 6.1 per PTA_g; 4.3 and 4.2 per PTA_p; 2.2

and 3.9 per PTAc. The average VANs in terms of thousands of pesos were 0.7 and 5.5 in the first and last group accordingly, when the ranking was arranged by TPI.

The highest positive rank correlation with VAN, obtained PTAI, shown an index of -0.37. The highest negative index was shown with semen price, with value was -0.66.

Having fertility levels varied 20% to a 50% according to the total pregnant percentage, the average VAN in thousands of pesos of all bulls fluctuated from -3.0 and 7.3.

The results of the study indicates that the determinate factor on profitability is semen price and Ptal is the best profitability indicator within the genetic improvement indicators. It only showed profitable improvement in solids and investment on high priced semen on those levels with highest selection response coefficient.

1.- INTRODUCCIÓN

Cualquier actividad productiva que pretenda permanecer vigente a través del tiempo, requiere de un esfuerzo continuo en el mejoramiento de los productos de acuerdo a las expectativas de los consumidores y las fluctuantes condiciones de mercado. Este esfuerzo debe materializarse a través de innovación tecnológica, la que implica una inversión y con ello, un incremento en los costos totales de producción. La inversión destinada a mejorar un producto y/u optimizar el proceso de producción, busca incrementar la rentabilidad del negocio, ya sea aumentando el volumen producido, reduciendo los costos por unidad o dando un valor agregado al bien generado.

En el caso de 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, la inversión en semen de toros con un potencial genético superior y un aumento de los costos por concepto de alimentación.

Si el objetivo del mejoramiento genético es aumentar la rentabilidad de la producción de leche, se debe entonces considerar los costos y beneficios involucrados, así como aquellos factores que los modifican al momento de elegir un programa de mejoramiento. En el caso chileno, se desconoce la rentabilidad de las inversiones en mejoramiento genético y no se cuenta con las herramientas de 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, 2003). 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 se orienta al desarrollo de un modelo económico, susceptible de ser aplicado como herramienta de selección y evaluación de la inversión en semen en Chile. Dicho modelo, considera en forma simultánea los principales indicadores genéticos utilizados en la selección de toros Holstein en nuestro país. La intención es proponer una metodología aplicable a distintas condiciones ambientales de rebaño, que sea de fácil interpretación y que permita conocer en forma directa los retornos económicos de la inversión en material genético.

2.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1.- Antecedentes económicos

2.1.1.- Importancia del Producto Interno Bruto Silvoagropecuario

Entre los años 1997 y 2002 el porcentaje de participación de la actividad silvoagropecuaria en el PIB presentó un valor sostenido de cuatro puntos porcentuales, a pesar de aumentar en forma absoluta en casi 300 mil millones de pesos (ODEPA, 2004).

Tabla 2.1.- Valor absoluto, participación porcentual en el PIB, tasa de variación interanual e índice en relación a 1996 del PIB silvoagropecuario.

	2001 ¹	2002 ²	97-2002
Valor en millones de pesos	1.555.464	1.620.145	1.455.990
Participación porcentual.	4,2	4,3	4,15
Tasas de variación interanual (%)	5,2	4,2	3,47
Índice 1996=100	117,5	122,4	110,98

Elaborado con información de ODEPA 2004

¹En base a cifras provisionales. / ²En base a cifras preliminares.

La participación de la agricultura en el PIB nacional es reducida si la comparamos con otros sectores como la industria manufacturera, los servicios financieros y bancarios o los servicios personales; que durante el 2002 alcanzaron 17,5, 12,1 y 10,6 puntos porcentuales del PIB nacional, respectivamente. Esto indica, que la importancia de la agricultura en la economía no radica en su tamaño, sino más bien en el hecho de que la producción agrícola da origen a una serie de otras actividades económicas, generando un efecto multiplicador de recursos denominado encadenamiento de la economía (Dirven, 2002). Según Dirven, el sector manufacturero en Chile en el año 1996 demandaba el 82% de los insumos generados por el agro para las industrias en general y contribuía a la economía con

un 10,7% del PIB, 7,3% del empleo y 15,1% de las exportaciones. Esto llevó a que se estimara que la participación conjunta de la agricultura más la industria manufacturera directamente ligada a ella corresponde al 15,1% del PIB, 22,1% del empleo y 19,9% de las exportaciones.

Lo anterior demuestra que la importancia de optimizar los recursos en todas las etapas de la producción agropecuaria, trasciende a los valores monetarios involucrados en forma directa, con repercusiones de consideración en los demás sectores económicos de un país.

2.1.2.- Importancia de la producción lechera en el PIB silvoagropecuario

La producción de leche alcanza cifras cercanas al 9% en relación al total del Producto Interno Bruto Silvoagropecuario y 0,7% del Producto Nacional (Anrique *et al.* 1999). Con respecto a la participación lechera por regiones, ésta se presenta la Tabla 2.2.

Tabla 2.2.- Contribución del rubro de la leche en el PIB silvoagropecuario por regiones y en el país (millones de \$, abril de 2004).

Región	PIB silvoagropecuario	Valor leche producida	Valor leche %PIB silvoagropecuario
X	229.370	155.939	66,3
IX	176.226	29.736	16,9
VIII	290.095	21.539	7,4
VII-RM	1.673.060	32.833	2,0
PAÍS	2.710.524	240.046	8,9

Fuente: Anrique *et al.*, (1999).

De la Tabla 2.2 se desprende que en la Décima Región la mayor parte del PIB silvoagropecuario se encuentra representado por la producción de leche, situación que contrasta con el resto en que sólo la Novena Región alcanza los dos dígitos, pero muy por debajo de la anterior. Por otra parte, aunque el aporte al PIB silvoagropecuario en la zona central es el más bajo de las regiones consideradas, es esta zona la segunda productora en términos de valor absoluto, quizás debido al mayor precio alcanzado por el litro de leche en aquellas regiones más cercanas a los centros de consumo masivo y a su elevado PIB sectorial.

2.2.- Antecedentes productivos del sector lechero

2.2.1.- Volumen de producción

Durante el año 1999 se produjo en Chile poco más de 1.900 millones de litros de leche, de los cuales un 65% se destinó a la industria, un 11,3% a queserías y venta directa y un 13,2% a consumo predial, crianza de terneros y mermas (Anrique *et al.*, 1999).

Según datos entregados por ODEPA (2004), la recepción industrial durante el período 1990-2003 aumentó en un 175,5%, con una recepción en planta para el año 2003 de más de 1.560 millones de litros.

De igual fuente se estima que la Décima Región aportó el año recién pasado con poco más de 1.044 millones de litros a la recepción industrial de nuestro país, lo que equivale al 66,8%, demostrando que es la zona de mayor preponderancia, además se informó que el 2002 y 2003 la producción total de leche en nuestro país fue de 2.170 millones de litros.

2.2.2.- Productores de leche

Según Anrique *et al.* (1999), en 1997 la recepción industrial de leche provino de un total de 13.478 productores, de los cuales un 83% entregó su leche a la gran industria. De este porcentaje, el 82% entregó menos de 100 mil litros anuales contribuyendo sólo con un 13,6% de la recepción nacional. En contraste, los productores que produjeron volúmenes superiores al millón de litros anuales alcanzaron el 2,3% del universo de productores y aportaron el 37,1% de la recepción industrial.

El mismo autor afirma que el número de productores que abastecieron a la industria se redujo en 2.145 entre 1995 y 1997, lo que representa un 14%. Esta reducción se produjo, principalmente, en el segmento de los productores más pequeños.

Tabla 2.3.-Número de productores y aporte a la recepción nacional industrial de leche en plantas según volumen de recepción (año 1997).

Recepción por productor (miles de litros/año)	Nº productores	% Productores	% Volumen nacional	Promedio de recepción por productor (l/año)
< 100	11.040	81,9	13,6	17.830
100-500	1.646	12,2	26,3	231.330
500-100	482	3,6	23,0	692.755
>1.000	310	2,3	37,1	1.733.594
Total	13.478	100	100	-

Fuente: Anrique *et al.* (1999).

2.2.3.- Factores productivos que afectan la rentabilidad de la lechería

La rentabilidad de una lechería, expresada como la razón entre la utilidad neta y la inversión de capital total en la actividad, mide la remuneración del factor capital. Su valor puede variar en función del precio de los insumos, la aplicación de nuevas tecnologías o el valor del producto (Hausdorf, 1992).

Estudios de casos y ensayos experimentales en distintas regiones de nuestro país, permiten dar una idea de la rentabilidad del sector lechero en Chile. A continuación se presenta un resumen al respecto.

Tabla 2.4.- Rentabilidad (ingreso/capital*100) de lecherías por año y región según estudio de casos de distintos autores.

Autor	Región	Nº de casos	Rentabilidad (%)	
			Promedio	Rango
Hausdorf, 1992	RM-V	4	7,2 ¹	4,2-13,1
Miquel, 1994	X	9	8,8 ¹	7,0-11,2
Campos <i>et al.</i> , 1995	RM	4	8,7 ¹	5,0-14,9
Lerdón y Rabanal, 1999	X	4	2,9 ²	(-3,5)-9,1
Lobos <i>et al.</i> , 2001 a	VII	2	9,4 ¹	8,7-10,0
Lerdón y Rautenberg; 2001	X	6	3,6 ²	0,2-9,0

¹Ingreso como margen bruto de las actividades de lechería.

²Ingreso como margen neto de las actividades de lechería.

Según estos estudios, la rentabilidad de los sistemas productivos es variable, aunque existen similitudes en cuatro de los seis ejemplos. La diferencia de resultados obtenidos por Lerdón y Rautenberg (2001) y Lerdón y Rabanal (1999) se debe en parte a que la rentabilidad fue calculada a partir de los márgenes netos, a diferencia de las otras investigaciones que utilizan márgenes brutos. Los autores mencionados, atribuyen la variación del indicador al costo de la leche, la alimentación, el aprovechamiento de la pradera, capital de inversión y nivel productivo por lactancia. En cada sistema productivo estos factores se conjugan en forma distinta, no existiendo una relación estricta entre la forma de producción y la rentabilidad (Anrique *et al.*, 1999).

En la literatura, se le atribuye cierta relevancia económica a muchas variables productivas, dentro de las cuales se puede mencionar: Consumo de materia seca (Groen, 1989 a y b; Koenen *et al.*, 2000), tasa de reemplazo (Renkema y Stelwagen, 1979), parámetros reproductivos (Olds *et al.*, 1979; Miquel, 1994; Capitaine, 2000; Sorensen y Ostergaard 2003), costos de producción (Hausdorf, 1992), número de ordeñas diarias (Pittet *et al.*, 1997), etc. Sin embargo, existe consenso en que entre los factores preponderantes de mejoras en la rentabilidad y competitividad están la implementación de técnicas modernas de decisión (Pittet *et al.*, 1997; Lerdón y Aspe, 2000; Smith *et al.*, 2002) y el mejoramiento del rebaño (González, 1989; Guzmán 1990; Navarro, 1994; Miquel, 1994).

Es ésta última razón por la que el manejo de la composición de la leche por medio del mejoramiento genético y la evaluación de mejoras de los sistemas de producción, incorporando de manera generalizada la gestión técnico-económica, son prioritarios para el desarrollo del sector (Anrique *et al.*, 1999) a pesar de que no representen un costo de relevancia primaria en la producción láctea.

2.3.- Mejoramiento genético como proyecto de inversión

2.3.1.- El proyecto de inversión y su evaluación

Según Sapag y Sapag (1989) un proyecto se define como la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema tendiente a resolver una necesidad humana. Los autores afirman que "tal proyecto debe evaluarse por el hecho de que se desea conocer su conveniencia, de tal forma que se asegure que habrá de resolver una necesidad humana en forma eficiente, segura y rentable".

En forma más concreta, para Fontaine (1992) el concepto de proyecto privado así como la evaluación de éste, puede abordarse desde dos perspectivas distintas:

- **Económica:** Para un economista, un proyecto es la fuente de costos y beneficios que ocurren en distintos períodos de tiempo; por lo tanto, la evaluación económica consiste en identificar los costos y beneficios atribuibles al proyecto y medirlos con el fin de emitir un juicio sobre la conveniencia de ejecutar ese proyecto.
- **Financiera:** Para aquel que prestará el dinero con que se llevará a cabo la ejecución de un proyecto, es el origen de un flujo de fondos provenientes de ingresos y egresos de caja, que ocurren a lo largo del tiempo. Así, el desafío de su evaluación desde esta perspectiva, será determinar si los flujos de dinero serán suficientes para cancelar la deuda.

2.3.1.1.- Proyecto de inversión agropecuario y su evaluación

En el área de la producción, un proyecto consiste en comprar insumos, combinarlos y transformarlos para venderlos a un valor que exceda en la mayor medida posible lo invertido (Fontaine, 1992). Esto implica entonces, que los proyectos de inversión en un sistema productivo en funcionamiento que busquen mejorar su eficiencia, deben lograr que tal mejora se traduzca en un aumento en la diferencia entre los beneficios esperados y los recursos invertidos en el sistema.

En un sentido más específico, un proyecto agrario se entiende como la actividad de inversión en la cual recursos financieros son destinados a generar un capital, el que se empleará para producir beneficios por un período de tiempo (Gittinger, 1982). La evaluación en este caso, identifica el capital, el monto de la inversión y los beneficios que se desprenden de este nuevo capital, para llevar a cabo una valoración adecuada de la implementación de una actividad de inversión cualquiera.

2.3.1.2.- Valoración económica de un proyecto de inversión

En el estudio de un proyecto de inversión se distinguen dos grandes etapas: la preparación o formulación y la evaluación (Sapag y Sapag, 1989; Fontaine, 1992).

La primera tiene por objeto definir todas las características que influyen en el flujo monetario del proyecto, subdividiéndose a su vez en dos subetapas: recopilación de información y construcción del flujo de caja.

La segunda etapa, busca determinar la rentabilidad de la inversión en el proyecto con la información generada durante la preparación mediante metodologías bien definidas. Estas metodologías se utilizan para mejorar los criterios de inversión, al permitir cuantificar el valor de diferentes alternativas y tener un criterio objetivo de decisión.

Gittinger (1982), menciona que los principales indicadores para la determinación de rentabilidad de la inversión en granjas agrícolas son: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Relación Beneficio-Costo (B/C) y Relación Beneficio Neto-Inversión (BN/I). De todos ellos el criterio de decisión más conocido y utilizado es el VAN (Fontaine, 1992).

2.3.2.- Definición de un proyecto de mejoramiento genético

De acuerdo con la concepción general de proyecto establecida anteriormente, un proyecto de mejoramiento genético corresponde a la implementación de metodologías y procedimientos inteligentes, con el propósito de cambiar la composición genética de una población animal productiva, según necesidades humanas. Si se asume que el manejo reproductivo y las técnicas de inseminación utilizadas en un predio son una constante, entonces la preferencia entre alternativas de inversión en mejoramiento genético para un mismo ambiente, estará dada únicamente por las diferencias económicas producidas como consecuencia de la selección de una determinada dosis de semen (Wilcox *et al.*, 1984).

Como se mencionó en apartados anteriores, la forma de determinar si un proyecto cumple o no los objetivos propuestos en la planificación, es mediante su evaluación, la que pretende medir objetivamente ciertas magnitudes cuantitativas, resultantes del estudio del proyecto. Consecuentemente, implementar un proyecto de mejoramiento genético determinado, requiere de la correcta valoración de los beneficios esperados y los costos involucrados en él.

Bajo esta perspectiva, los proyectos de inversión en mejoramiento genético en Chile, no serían evaluados antes de su implementación, al no realizarse una valoración adecuada de los beneficios económicos esperados por conceptos de selección.

2.3.3.- Inversión en mejoramiento genético

2.3.3.1.- Importación de Semen en Chile

El desarrollo de técnicas para la congelación de semen por Polge y Rowson en 1952 (Jara, 1999), ha permitido un gran intercambio de material genético a través del mundo. En consecuencia, se ha usado la importación de semen de razas mejoradas en otros países, como estrategia para mejorar la productividad de sistemas ganaderos.

En el caso de Chile, actualmente el flujo de material genético bovino es casi exclusivamente de entrada y el origen de este material se encuentra principalmente en Norteamérica y Nueva Zelanda (Tabla 2.5). Estados Unidos es el país de mayor participación en las importaciones de semen de ganado bovino lechero a nuestro país, alcanzando un 65% del total del valor importado entre 1999 y 2002; le sigue Canadá muy por debajo, con un 14%. En el valor total de las importaciones, se ha registrado un descenso progresivo en estos cuatro años (Banco Central 2003).

Tabla 2.5.-Valor de las importaciones de semen a Chile de razas bovinas productoras de leche por país de origen (US\$)

	1999	2000	2001	2002
Estados Unidos	1.238.939	1.021.155	1.135.111	965.048
Canadá	273.798	263.366	225.024	205.056
Nueva Zelanda	110.582	142.674	157.125	129.644
Holanda	79.446	112.050	18.921	82.142
Francia	23.960	44.456	38.888	110.719
Alemania	78.345	50.314	46.908	28.201
Otros ^a	63.732	74.394	58.315	70.390
TOTAL	1.868.802	1.708.409	1.680.292	1.591.200

Fuente: Banco Central (2003).

^a España, Irlanda, Bélgica, Suecia, Italia, Dinamarca, Australia y Bolivia

Al observar la Tabla 2.5, llama la atención la ausencia de Inglaterra como proveedor de semen, ya que entre los años 1985 y 1990 el país europeo era superado sólo por Estados Unidos en la proporción de hijas en primera lactancia (Barría *et al.*, 1994).

2.3.3.2.- Inversión en semen a nivel predial

La inversión en mejoramiento genético es un ítem muy variable dentro de los planteles lecheros de nuestro país, debido principalmente a la diferencia de precios del semen seleccionado en los programas de mejoramiento. Según Wilcox (1984), el rango de precios de la dosis de semen puede ir desde cifras inferiores a los 5 dólares hasta sobrepasar los 300 dólares la unidad. Según datos recopilados en este estudio, los precios nominales sin IVA durante el 2003, encontrados al analizar un total de 46 toros Holstein Norteamericanos disponibles para la venta en la Región Metropolitana, fluctuaron entre los 6,14 y los 37 dólares, con un promedio de 14,3 dólares la dosis.

Si se considera el monto de la inversión de semen a nivel predial, éste varía dependiendo de la intensidad de selección y las condiciones de manejo. Por ejemplo, un ensayo en la estación experimental INIA La Platina en la Región Metropolitana, cuyo propósito fue estudiar la factibilidad técnico-económica de intensificar los sistemas de producción en la zona central de Chile (González, 1989), consideró vaquillas Holstein Friesian de alta selección con una producción promedio por lactancia estandarizada a 305 días de 7.762 kg (grupo A) y vaquillas de la misma raza de un nivel genético medio, cuya producción estandarizada alcanzó los 5.521 kg (grupo B). El costo promedio de la dosis de semen utilizado en los grupo A y B alcanzó los \$5.110 y \$1.554 respectivamente, mientras que la participación en el total de los costos directos de inseminación incluyendo semen y materiales de inseminación fue de un 3,1% en el primer grupo y un 2,12% en el segundo.

Hott (1998), determinó que en un plantel lechero de la zona sur compuesto por 356 vacas en lactancia, la compra de semen representa el 1,9% del total de los gastos; Rautenberg (2000) realizó un estudio técnico de seis casos de lecherías en la comuna de Panguipulli e informó costos de inseminación en promedio de 4 mil pesos por Unidad Animal al año, representando el 1% del total de los costos directos.

Otro estudio realizado en una lechería en la Octava Región, arrojó valores de un 2,0 y un 3,2% en relación al total de gastos en los años 1996 y 1997, respectivamente (Marín, 2000).

Palma (2002), al evaluar dos lecherías de la V Región, informó una participación del ítem inseminación de un 2,17% en relación a los costos directos y gastos generales, considerando el valor del semen y los materiales. Al tener en cuenta sólo el valor del semen el porcentaje disminuye a un 2,12%; con un valor promedio de la dosis de semen que bordeó los \$7.600.

Dentro de los costos de producción de leche en nuestro país, los principales componentes corresponden a alimentación (28,6%), mano de obra (16,2%), depreciación de infraestructura, maquinaria y equipos (11%) y administración (10,7%) (Anrique *et al.*, 1999). Esto demuestra la escasa participación del mejoramiento genético en la estructura de costos de las lecherías del país.

2.3.3.3.- Inversión en semen y mejoramiento del rebaño

El conocimiento que se tiene en Chile de la incidencia real del mejoramiento genético en la rentabilidad de la producción de leche es impreciso. Ciertos estudios financieros de la producción de leche a nivel predial, no consideran en forma individual los costos de inseminación, sino que se informan junto con gastos de manejo sanitario (Anrique *et al.*, 1999) o inclusive no se describen (Campos *et al.*, 1995).

Pese al poco peso de la inseminación artificial en la estructura de costos, su impacto en la composición genética del rebaño es importante, ya que el ganado llega a constituir el 25% del capital total, generando hasta un 87% de los ingresos (Lobos *et al.*, 2001 b). Su importancia como fuente de inversión se ve respaldada por el hecho de que el patrimonio genético es uno de los factores que inciden más significativamente en los resultados económicos de un plantel lechero junto con la alimentación, reproducción, salud animal, tamaño del rebaño y producción por vaca, entre otros (Lobos *et al.*, 2001 b).

2.3.3.4.- Dificultades en la decisión de inversión en semen

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 obtenida como resultado de la inversión en mejoramiento de una característica, 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, si se considera tasa de concepción al primer servicio, tasa de mortalidad, lapso ínter parto u otros indicadores (Wilcox *et al.*, 1984).
- d) Las variaciones en las condiciones del mercado, las cuales modifican los precios de productos e insumos y tienen gran incidencia en el valor económico del mérito genético del rebaño (Groen, 1988). Estas variaciones aumentan el riesgo de la inversión y por lo tanto modifican la rentabilidad esperada.
- e) Las variaciones en la repetibilidad de "*Predicted Transmitting Abilities*" (PTA) en los toros modifica los límites de confianza en la predicción del Valor Actual Neto (VAN) para inversión en semen (Wilcox *et al.*, 1984).
- f) La selección de los toros es en base a las evaluaciones realizadas en su país de origen, sin considerar la Interacción Genotipo Ambiental evidenciada en varios casos. En los 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 ($\beta < 1$) (Stanton *et al.*, 1991 a y b; Verdugo, 2002; Barría *et al.*, 2002).

2.3.4.- Valoración económica del mejoramiento genético

2.3.4.1.- Valoración económica del mérito genético de producción láctea

En el caso del productor de leche bovina, los mayores retornos económicos los obtiene a partir de la venta de leche y producción de sólidos, seguido por la venta de animales de desecho y reemplazo (Simm *et al.*, 1994). Lo anterior es confirmado también en Chile por análisis financieros de lecherías, los cuales estiman retornos económicos por producción de leche cercanos al 90% en relación al total de los ingresos (Campos *et al.*, 1995; Lerdón y Rabanal, 1999; Lerdón y Rautenberg, 2001; Marín, 2000).

Con tales afirmaciones, resulta obvio pensar que el mejoramiento genético del rebaño lechero debe estar centrado en características de producción. Por ejemplo Bakker *et al.*, (1980) determinaron que la valoración económica de un toro en cuanto a la utilidad neta de su descendencia se correlaciona en 0,77 con la producción de leche de ésta.

El valor económico de la ganancia genética para producción de leche y sólidos lácteos ha sido determinado para un gran número de situaciones y en forma relativamente satisfactoria en diversos estudios (McGilliard, 1978; Groen, 1988; Groen 1989 a y b; Simm *et al.*, 1994). Los autores de dichas investigaciones optaron por metodologías y criterios diferentes, atendiendo a necesidades de estudio diversas, representativas de realidades disímiles y difíciles de comparar entre sí. Todos ellos coinciden en que el valor económico del mérito genético es diferente para cada realidad económica (precios de insumos y productos) y de manejo productivo del rebaño.

Pese a lo anterior, Guzmán (1990) sostiene que en Estados Unidos la ganancia neta por vaca/año en cada generación al seleccionar por producción de leche, alcanza los 41,5 dólares, y que este resultado es aplicable a nuestra realidad nacional.

2.3.4.2.- Valoración económica de características de conformación

Pese a que la incorporación de características de conformación en el cálculo de la rentabilidad del mejoramiento genético es una tarea complicada, debido al problema que significa valorarlas económicamente, existen publicaciones al respecto que pueden aportar significativamente en este sentido. Precisamente, Norman *et al.* (1981), mencionan que características de tipo se relacionan positivamente con longevidad de las hembras y precio de la venta de ganado, además de demostrar una correlación de 0,27 entre conformación e ingreso neto por día de lactancia. Los mismos autores afirman que vacas con altos puntajes de conformación mamaria y conformación final, son más rentables.

Blake *et al.*, (1987) informan que los ingresos de fuentes distintas a la venta de leche alcanzan un 15% del total, cuando el énfasis de selección por características de conformación alcanza la sexta parte del énfasis lechero.

En otro estudio se combinaron las tres características de tipo más influyentes en la disminución de eliminación involuntaria (profundidad de ubre, posición de pezones y ángulo de pezuña) con producción de leche en un índice de selección, para luego comparar los resultados con la selección sólo por leche. La opción del índice dio resultados un 10% más rentables por generación que en el segundo caso, debido fundamentalmente a un menor incremento en la tasa de eliminación involuntaria (Guzmán, 1990).

Wilcox *et al.* (1984), valoró la unidad de desviación estándar de PTA de conformación en una fracción del valor de una desviación estándar de “*Predictted Difference Dollars*” (PD\$), donde la magnitud de esta fracción depende de la importancia relativa entre los ingresos generados por producción de leche y aquellos generados por otras fuentes.

Quizás este método sobreestime el peso económico del mejoramiento de conformación en el ganado, debido a que los ingresos por fuentes distintas a la venta de leche (como la venta de ganado o las diferencias de inventario) no son explicadas totalmente por el mejoramiento de la conformación del cuerpo. De cualquier forma, es posible utilizar esta relación si es conocida la diferencia de rentabilidad entre rebaños mejorados únicamente por selección lechera y aquellos que han sido mejorados en forma simultánea por índices de características lecheras y de conformación.

2.3.5.- Herramientas de selección

2.3.5.1.- Selección genética por característica

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. Existen más de 20 parámetros calculados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) y la Asociación Holstein para todos los toros norteamericanos disponibles a la venta.

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, que se establece cada cinco años a partir de registros de datos recolectados en controles lecheros. 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.

2.3.5.2.- Selección para 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 (Hazel, 1943). 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).

Algunos ejemplos de índices de selección utilizados en la raza Holstein según diferentes objetivos en mejoramiento genético son: “*Type Production Index*” (TPI), “*Net Merit Index*” (NM), “*Fluid Merit Index*” (FM) y “*Cheese Merit Index*” (CM).

2.3.5.3.- Deficiencias de los sistemas de selección

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:

- 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.
- 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).
- 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.
- 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 todo lo anterior se desprende, que el productor lechero nacional toma decisiones de inversión en semen basándose en información sesgada, poco confiable e imprecisa, 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.

2.4.- Aplicación de modelos económicos en evaluación de mejoramiento genético

2.4.1.- Antecedentes generales

Cuando el objetivo central de la inversión es aumentar la rentabilidad del negocio, el modelo que asigne valores a las distintas alternativas de decisión para su posterior análisis, debe considerar el diferencial de rentabilidad del sistema productivo generado como consecuencia de la introducción de un cambio determinado en el proceso. Como la eficiencia del sistema es a su vez una función de los factores de producción y los productos (Groen 1989a), el modelo debe cuantificar el cambio de eficiencia del sistema, en respuesta a la diferencia entre los costos involucrados en la generación de ese cambio y los beneficios económicos adicionales, que se obtuvieron a partir de él.

Los modelos económicos usados como apoyo a la toma de decisiones en muchas áreas de la agricultura, han sido utilizados también en estudios económicos del mejoramiento de parámetros productivos tales como producción de sólidos lácteos (*Simm et al.*, 1994), capacidad de consumo de materia seca y peso vivo en ganado de leche (*Koenen et al.*, 2000), tasa de concepción al primer servicio (*McMahon et al.*, 1985), conformación y vida productiva en ganado Jersey (*Norman et al.*, 1981), puntaje de conformación en ganado Holstein (*Blake et al.*, 1987) y tasa de reemplazo en rebaños lecheros (Renkema y Stelwagen, 1979).

2.4.2.- Modelos propuestos

2.4.2.1.- Producto marginal por mejoramiento

Groen (1988), desarrolló un modelo lineal determinista para el cálculo de valores económicos en crianza de ganado bovino de carne y leche a nivel de predio. Éste fue ocupado más tarde para determinar la sensibilidad del valor económico de la producción de leche y carne frente a distintas circunstancias de manejo productivo y precio de insumos y productos (Groen 1989 a y b). En dicho modelo, es posible apreciar que el valor económico del cambio productivo generado por efecto del mejoramiento consiste en el valor del diferencial de producción, al que le son sustraídos los costos marginales.

A pesar de que esta propuesta identifica en forma clara los flujos producidos como consecuencia del mejoramiento, no estima el valor de la inversión en mejoramiento genético. Aquí solamente se cuantifica el diferencial de producción de un rebaño ya mejorado, sin considerar la inversión inicial involucrada en generar el diferencial productivo (inversión en semen), evaluando el cambio en la eficiencia productiva sólo a partir del momento en que se manifiestan las características introducidas en el rebaño y sin tomar en cuenta el tiempo transcurrido desde la inseminación hasta la llegada de la edad productiva de la descendencia.

2.4.2.2.- Valor neto actualizado de la superioridad genética

Este modelo 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 Valor Actual Neto 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).

2.4.2.3.- Utilidad neta de la dosis de semen

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.

El autor, comparó éste índice con otros métodos de selección disponibles midiendo la correlación entre los rankings 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, por el autor, 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 (β). 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.

3.- OBJETIVOS

3.1.- Objetivo general

El presente trabajo tiene 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.

3.2.- Objetivos específicos

- Construir y validar un modelo económico que permita evaluar la inversión de material genético en ganado bovino lechero.
- Conocer el efecto de la Interacción Genotipo Ambiental sobre la rentabilidad de la inversión en semen.
- Determinar la asociación entre rentabilidad y precio del semen bajo condiciones chilenas a nivel general y por nivel productivo.
- Establecer la asociación entre rentabilidad de la inversión en semen e indicadores de mérito genético a nivel general y por nivel productivo.
- Conocer la sensibilidad de la rentabilidad de la inversión en semen al cambio de fertilidad del rebaño a nivel general y por nivel productivo.

4.- MATERIAL Y MÉTODO

4.1.- Población de toros evaluada

Los datos que se utilizaron en el cálculo del ingreso marginal consecuencia de la inversión en semen, corresponden a PTA para producción de leche, grasa, proteína y conformación; además de TPI de toros evaluados en Estados Unidos con semen disponible para la venta en dos empresas importadoras de la Región Metropolitana. Los PTA de la evaluación de Noviembre de 2003 realizada por la Asociación Holstein de Estados Unidos corresponden a un total de 46 toros, mientras que los TPI de igual fecha corresponden solamente a 44 de ellos (USDA, 2003).

Los datos usados en la estimación de los costos de inversión en material genético, se refieren al precio nominal en dólares sin IVA de la dosis de semen de los toros evaluados, entregados en los catálogos de venta de las dos importadoras mencionadas y convertido en pesos según el valor del dólar observado promedio de 2003 (ODEPA, 2004).

Tabla 4.1.-Valor del semen e indicadores de mérito genético de 46 toros Holstein Norteamericanos disponibles para la venta en Chile.

	Promedio	DE	Mín.	Máy.
Precio semen (\$/dosis)	9.889	3.348,8	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	0,0400	-0,08	0,09
PTA% grasa	-0,03	0,0761	-0,15	0,13
TPI ¹	1.480	111,4	1.233	1.774

¹Disponible sólo en 44 de los 46 toros.

4.2.- Descripción general

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 análogo al índice lineal de mérito neto (Wilcox *et al.*, 1984), pero con algunos componentes de 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 genético 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.

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.

4.3.- Supuestos del modelo

- I. El VAN de la inversión en semen, se definió como el 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 rebaños 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.

4.4.- Construcción del modelo

4.4.1.- Formulación

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

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

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.

IMgL_{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).

IMgC_{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 .

N = Número de dosis necesarias para obtener una hembra de reemplazo viva.

4.4.2.- Estimación de la respuesta productiva

4.4.2.1.- Información del rebaño

Como ya se mencionó, 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 (β). Lo anterior, permitió establecer una población para simular el mejoramiento genético

A continuación se muestra los promedios productivos (Tabla 4.2) y los coeficientes de respuesta a la selección para cada nivel de producción (Tabla 4.3).

Tabla 4.2.-Promedios de primeras lactancias en la IX y X regiones para leche, grasa y proteína por nivel de producción.

Nivel productivo	Rango de producción de leche (kg)	Promedio de producción (kg)		
		Leche	Grasa	Proteína
NP1	<7.000	6.457	238	203
NP2	7.000<9000	7.692	281	243
NP3	9.000<11000	9.912	350	316
NP4	11.000<13.000	11.770	396	366
NP5	13. 000<15.000	13.632	421	432
General	2.697–17.167	7.548	274	241

Fuente: Verdugo (2002).

Tabla 4.3.-Coefficientes de regresión de respuesta a la selección (β) por nivel productivo para producción de leche, grasa y proteína.

Nivel productivo	β leche	β grasa	β proteína
NP1	0,485	0,452	0,437
NP2	0,561	0,611	0,618
NP3	0,925	0,551	1,022
NP4	0,499	0,585	0,003
NP5	1,460	0,606	2,232
General	0,567	0,545	0,596

Fuente: Verdugo (2002).

4.4.2.2.- Estimación de producción para dos o más lactancias

Debido a que los registros son primeras lactancias, se incorporó un factor de corrección para leche, grasa y proteína (Tabla 4.4), simulándose la respuesta de lactancias posteriores a partir de información de primeras lactancias. El mismo método fue utilizado por Groen (1988), con igual propósito.

Tabla 4.4.- Factores de multiplicación de leche, grasa y proteína para estimar producción de lactancias posteriores a partir de la primera lactancia.

Nº lactancia	leche	grasa	proteína
1	1,000	1,000	1,000
2	1,182	1,184	1,215
3	1,284	1,281	1,302

Fuente: Groen (1988).

4.4.2.3.- Simulación de la respuesta productiva

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 (β) y el número de lactancia son elementos que participan en la expresión de las características productivas mejoradas. Esta respuesta esperada, corresponde al PTA del toro seleccionado corregido por los efectos mencionados. 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_{jkl} ($RE_{l_{jkl}}$, $RE_{g_{jkl}}$, $RE_{p_{jkl}}$)= Respuesta esperada promedio para leche, grasa o proteína, 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_l = Efecto nivel productivo l del rebaño mejorado.

EL_k = Efecto de la lactancia k.

PTA_j = Efecto del PTA del toro j.

β_l = 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).

4.4.3.- Estimación de los flujos de caja

4.4.3.1.- Calculo de Ingreso Marginal por producción

El ingreso marginal por efecto del mejoramiento genético del rebaño en características de producción, se calcula en cada una de las “n” lactancias consideradas en la fórmula general, de la siguiente manera:

$$IMgL_{jk} = Pxl * REl_{jk} + Pxg * REg_{jk} + Pxp * REp_{jk}$$

IMg_{L_{jk}}= Ingreso marginal expresado en pesos, debido al mejoramiento genético del rebaño en características de producción en la lactancia k de las hijas del toro j.

Pxl, Pxg y Pxp= Valoración en pesos de cada unidad de producción marginal de leche, grasa y proteína, respectivamente.

REl_{jk}, REg_{jk}, REp_{jk}= Respuesta esperada de las hijas del toro j en la lactancia k bajo condiciones chilenas, según nivel productivo del rebaño mejorado para leche, grasa y proteína respectivamente.

En el caso de la producción de leche, el valor de ésta se expresa en pesos por litro. El pago de sólidos lácteos es más complejo, ya que en Chile se paga en pesos por kg pero sólo a partir de cierto porcentaje peso/volumen y solamente los kg de excedente.

4.4.3.1.1.- Cálculo del pago de sólidos

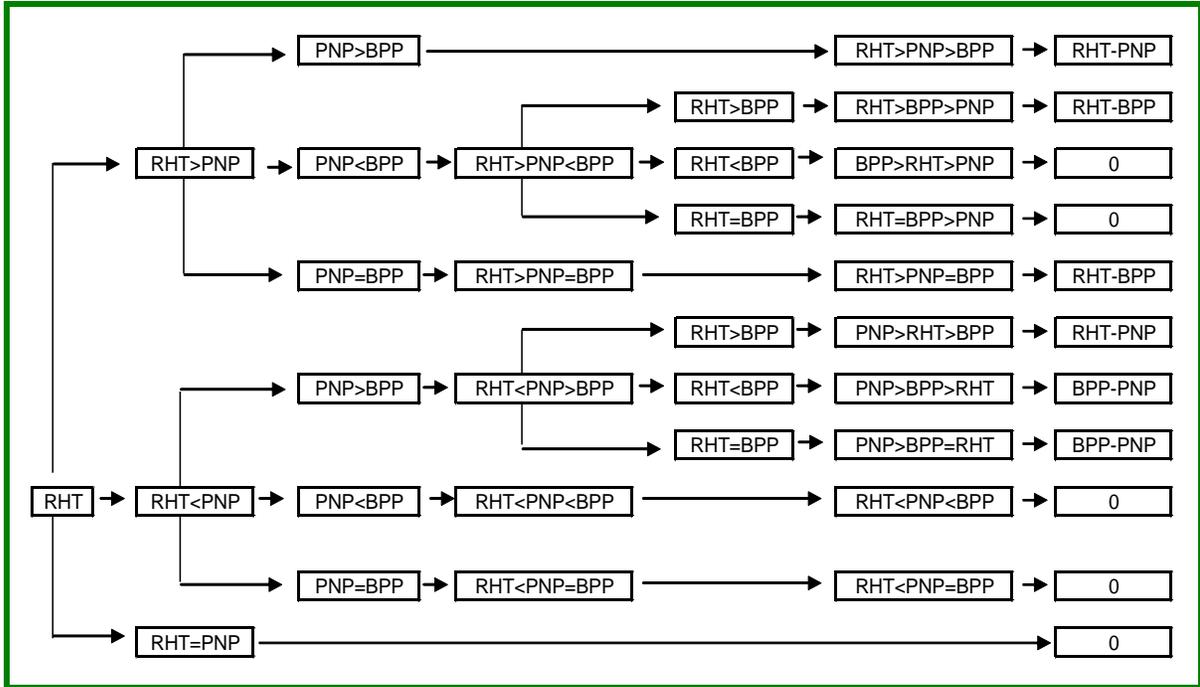
El valor de la producción marginal de sólidos de las hijas de un toro depende del porcentaje de grasa y proteína del rebaño a mejorar y de la respuesta esperada de las hijas del toro en relación a la pauta de pago fijada por el poder comprador.

Por mencionar un ejemplo, si el rebaño antes del mejoramiento supera el porcentaje establecido por la pauta de pago y el toro seleccionado genera un incremento en el porcentaje de sólidos en sus hijas, entonces el IMg consistirá en el valor del aumento observado. Cuando la producción antes del mejoramiento se encuentra por debajo de la pauta, se bonificará solamente la parte del aumento que sobrepase la pauta y será ésta parte, la que generará el IMg. Al contrario, si se produce una disminución del porcentaje de un sólido en la producción de las hijas del toro seleccionado, esto afectará negativamente el IMg en función de la diferencia entre la pauta y la producción antes del mejoramiento, sólo si antes del mejoramiento la producción es superior a lo establecido por la pauta de pago.

Lo anterior implica que cambios en los niveles de producción, no necesariamente producen cambios en los ingresos marginales, ya que sólo la producción que excede el porcentaje establecido en la pauta de pago, está sujeto a bonificaciones. Ello hace necesario determinar en qué casos el aumento o disminución de la producción de sólidos influirá sobre el IMg.

El diagrama de flujo de la figura 4.1, muestra las posibles situaciones de relación entre la respuesta de las hijas del toro (RHT), el promedio del nivel productivo (PNP) y el porcentaje base según la pauta de pago (BPP) para calcular el producto marginal (PMg.) de sólidos.

Figura 4.1.- Diagrama de flujo de la estimación de la producción marginal de sólidos.



En la Tabla 4.5 se muestra las operaciones para estimar el ingreso marginal de sólidos luego de establecida la relación correspondiente; el cálculo es el mismo tanto para grasa como para proteína. Una vez estimado el PMg, se convierte este valor a kg y se multiplica por el precio del sólido que corresponda.

Tabla 4.5.-Cálculo de PMg de sólidos de acuerdo a la relación entre RHT, PNP y BPP.

Situación	Cálculo de PMg. (% del sólido)
RHT > PNP > BPP	RHT-PNP
PNP > RHT > BPP	RHT-PNP
PNP > BPP ≥ RHT	BPP-PNP
RHT > BPP ≥ PNP	RHT-BPP
Otras situaciones	0

4.4.3.1.2.- Cálculo de porcentaje de sólidos

Las pautas de pago nacionales, bonifican el contenido de sólidos considerando el porcentaje en la leche mediante una relación de peso/volumen y valorizan el volumen en \$/litro. Como los registros de primeras lactancias en los que se basa la simulación de las respuestas esperadas, está expresada en kg, fue necesario utilizar un factor de conversión para leche fluida, cuyo valor es 0,970. (Díaz, 2002).

4.4.3.2.- Cálculo de Ingreso Marginal por conformación

Mediante la adaptación de la fórmula propuesta por Wilcox et al. (1984), el ingreso marginal por conformación ($IMgC_{jk}$), se calcula de la siguiente manera:

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

Donde:

$IMgC_{jk}$ = Ingreso marginal en pesos, por concepto de mejoramiento de características de conformación del rebaño en la lactancia k de las hijas del toro j.

$PTAc_j$ = PTA de puntaje lineal de conformación del toro j.

σ_{PTAc} = Desviación estándar de $PTAc$ del grupo de toros evaluados.

σ_{IMgL_k} = Desviación estándar de $IMgL_k$ 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 ($IMgL:PTAc$). Por ejemplo para importancia relativa $IMgL:PTAc = 1:0$ ($w = 0$); $10:1$ ($w = 0,1$); $3:1$ ($w = 0,33$); etc.

4.4.3.3.- Estimación de costos de alimentación.

El valor porcentual de los costos de alimentación en relación a los ingresos por producción de leche se determinó en base a información recopilada de un ensayo realizado en la X Región del país (Klein *et al.*, 1998). Algunos datos del estudio se presentan en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6.-Características productivas y costos de producción en un rebaño de la X Región entre 1992 y 1997.

Producción de leche (L/vaca ordeña/año)	8.100
Producción de grasa (%)	3,03
Producción de Proteína (%)	3,02
Consumo de concentrado (g/L leche)	269
Costos (como % de ingresos por producción de leche)	39,3

Fuente: Klein *et al.* (1998)

Wilcox *et al.*, (1984) fija el costo de alimentación como porcentaje del precio de la leche en un 45% y Rogers (1990) en un 33%, dejando los resultados obtenidos por Klein en un punto medio. Aunque existe información de menores costos de producción para la zona sur de nuestro país (Miquel, 1994; Lerdón y Rautenberg, 2001), se escogieron estos datos debido a que el objetivo principal del ensayo mencionado fue maximizar la producción por vaca mediante mejoramiento genético, concordando esto con la situación que se pretende simular en el modelo. El costo marginal en la situación base se fijó en un 40% de los ingresos.

4.4.3.4.- Cálculo de Inversión en semen (Inv_j)

La inversión (Inv_j) corresponde al valor de una dosis de semen del toro j (Pxs_j), es decir:

$$Inv_j = Pxs_j$$

El promedio de inseminaciones necesarias para producir una hembra de reemplazo viva en un rebaño depende de la fertilidad y de la tasa de mortalidad de éste, como los flujos fueron construidos a partir de la producción de un reemplazo; éstos debieron dividirse por el resultado de la siguiente ecuación:

$$N = [1/(PPT * (1 - TM))]/0,5$$

N = Número de inseminaciones necesarias para producir una hembra de reemplazo viva.

PPT = Porcentaje de preñez total expresado como fracción

TM = Tasa de mortalidad de hembras del rebaño como fracción

$0,5$ = Probabilidad de concepción de hembras.

4.4.3.5.- Descripción del tiempo en los flujos

El valor de los t_k depende de los siguientes parámetros prediales: Lapso ínter parto; edad al primer parto, duración de la lactancia y momento de nacimiento del reemplazo. 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:

t_k = Tiempo transcurrido en años desde la compra de semen y el punto medio de la lactancia k.

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

LIP = Lapso ínter parto 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; el cálculo es el siguiente:

$$TNREEM = 1,5 * LIP$$

4.5.- Parámetros del modelo

4.5.1.- Tasa de interés

Se utilizó una tasa de descuento real anual de 10%, valor aproximado a la tasa de un 10,14%, calculada para explotaciones lecheras por Lobos *et al.* (2001a), quienes utilizaron el Modelo de Valoración de Activos de Capital y el Costo de Capital Promedio Ponderado en dicho cálculo.

4.5.2.- Precio de la leche

El precio del litro de leche pagado a productor fue estimado para cada nivel productivo, ya que difieren en el contenido de sólidos. La estimación se basa en una pauta de pago de una planta lechera de la X Región vigente a partir del 1º de Junio de 2003 (APROLECHE, 2003). El precio base para todos los niveles productivos es de \$87,8 más las siguientes bonificaciones generales:

- 5% por estanque propio.
- 8% por RCS (celulas/ml) menor a 400.000.
- 8% por RBT (ufc/ml) menor a 100.000.
- 1% por certificación de predio libre de brucelosis.
- 1% por certificación de predio libre de tuberculosis bovina.

No se consideran bonos de estacionalidad ni descuento por excedentes. El precio de la leche con las bonificaciones mencionadas sin considerar el pago por sólidos fijada para los distintos niveles fue de \$107,99/l.

El pago de sólidos dependió del porcentaje de grasa y proteína calculado en cada nivel productivo. La pauta valoriza la grasa en \$500 el kg y la proteína en \$800 el kg por diferencias sobre el 3,0% y 3,2%, respectivamente

4.5.3.- Duración de los ciclos reproductivos

Para definir la duración de los parámetros reproductivos que determinan la duración de los ciclos de producción, se utilizó información de 32.674 observaciones para lapso ínter parto (LIP) y período seco (PS) además de 14.601 para edad al primer parto (EPP), recopiladas entre los años 1985 y 1990 en la X Región (González; 1993). La duración de la lactancia (DLAC) fue estimada restando PS a LIP. Como en la simulación, las lactancias están estandarizadas a 305 días, los parámetros mencionados fueron corregidos según este tiempo y posteriormente expresados en años. Lo anterior se resume en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7.- Duración de los ciclos reproductivos utilizados como parámetro en la estimación del tiempo.

Parámetro	González, 1993. (días)	Corrección 305 días		
		Días	meses	años
LIP	371	374,7	12,32	1,026
PS	69	69,7	2,30	0,190
DLAC ¹	302	305,0	10,02	0,827
EPP	953	953,0	31,33	2,610

¹Estimado a partir de LIP y PS (LIP-PS)

4.5.4.- Fertilidad del rebaño

Para calcular el número de inseminaciones necesarias para producir una hembra de reemplazo viva en el rebaño (N) se requirió:

Índice de Preñez total (IPT): Se calcula dividiendo el número total de inseminaciones en el rebaño por el número de vacas preñadas (Concha, 1990). Datos chilenos estiman el valor de este índice en la zona central en 2,42 (Capitaine, 2000), que expresado como porcentaje de preñez total (PPT) equivale a un 41,3%. La situación base se estableció en un 40%.

Porcentaje de mortalidad: Equivale al porcentaje de hembras eliminadas o muertas entre el nacimiento y la lactancia en relación al total de hembras nacidas vivas. Se fijó en un 5%.

Probabilidad de concepción de hembras: Es la probabilidad de que una vaca preñada produzca una hembra al parto (50%).

4.6.- Validación

Se realizó una validación *ex post* (Köbrich, 1997), evaluando la eficiencia del ranking por rentabilidad de la inversión de semen generado por el modelo desarrollado. Con este objetivo fueron comparadas las correlaciones de ranking de Spearman para rentabilidad y TPI entre dos modelos desarrollados anteriormente PV\$ (Wilcox *et al.*, 1984), SU (Rogers, 1990) y el modelo propuesto en esta memoria.

Para comparar sobre una base común, 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.

Tabla 4.8.-Parámetros establecidos en el cálculo del VAN para la comparación de la correlación con TPI.

Parámetro	Valor
Tasa de concepción como PPT (%)	40
Precio de la leche US\$/kg	0,14145
Precio grasa US\$/kg	3,77
Precio proteína US\$/kg	7,54
Tasa de interés anual (%)	5,0
Importancia relativa de conformación (w)	0,33

4.7.- Simulación

El modelo fue construido en una planilla Excel y luego usado para simular las rentabilidades de los toros utilizados en el estudio.

4.7.1.- Definición de la situación base

Se definió como situación base a las simulaciones construidas utilizando los parámetros establecidos en los puntos 4.5.1 al 4.5.3 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 (4.7.2) y la relación entre el precio del semen, VAN e indicadores de mérito genético (4.7.3). Para el análisis de sensibilidad del VAN a la fertilidad del rebaño, se modificó solamente el PPT según lo descrito más adelante (4.7.4).

Tabla 4.9.-Parámetros utilizados en la simulación de la situación base.

Parámetro	Valor
Tasa de concepción como PPT (%)	40
Tasa de mortalidad (%)	5
Ponderador de valor relativo de conformación (w)	0,33
Edad al primer parto (meses)	31,3
Lapso ínter parto (meses)	12,3
Duración de la lactancia (días)	305
Tasa de interés real anual (%)	10

4.7.2.- Efecto de la respuesta a la selección sobre la rentabilidad

Se simularon 5 niveles de respuesta a la selección para leche, grasa y proteína por lactancia mediante el supuesto de 5 niveles productivos, considerando también el promedio general de todas las observaciones. La rentabilidad promedio y los parámetros de dispersión del VAN de los toros evaluados, así como la producción marginal (PMg) en relación a los promedios de producción de leche y porcentaje de sólidos, fueron comparados entre niveles productivos.

4.7.3.- Relación entre el precio del semen, VAN e indicadores de mérito genético

Uno de los objetivos específicos de este trabajo, fue establecer si existe algún grado de asociación entre variables genéticas, valor de inversión y rentabilidad, con el propósito de comprobar:

- Si los precios de mercado de la dosis de semen se relacionan con sus expectativas de mejoramiento
- Si una mayor inversión en semen implica o no un mayor beneficio neto; y
- Si los PTA para leche, grasa, proteína y conformación, así como el TPI constituyen criterios de selección útiles para mejorar la rentabilidad de la producción lechera en ciertas condiciones chilenas.

En correspondencia a los objetivos planteados se determinó:

- Rentabilidad promedio de las 5 y 10 dosis de mayor y menor precio, además del promedio de rentabilidad de toda la población evaluada, a nivel general y por nivel productivo.

- Rentabilidad promedio de las 5 y 10 primeras, así como de las 5 y 10 últimas posiciones del ranking según distintos indicadores de mérito genético, a nivel general y por nivel productivo
- Correlación de ranking de Spearman entre rentabilidad e indicadores de mérito genético a nivel general y a través de niveles productivos.

4.7.4.- Sensibilidad del VAN a la fertilidad

Otro factor relevante que incide sobre el VAN es la fertilidad del rebaño, ya que de ésta depende el número de dosis utilizadas para generar un reemplazo (McMahon *et al.*, 1985). La simulación de distintas condiciones prediales, por medio de la variación de este parámetro, permite apreciar las diferencias en la rentabilidad promedio, según VAN de un mismo grupo de toros y cambios de ranking. Las condiciones de fertilidad, fueron modificadas mediante la variación del porcentaje de preñez total (PPT).

En la simulación se comparó porcentajes de preñez total (PPT) de un 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50%. Como referencia, en estudios en otros países, se han comparado tasas de entre un 30 y un 60%, evidenciándose variaciones significativas (Wilcox *et al.*, 1984; McMahon *et al.*, 1985; Blake *et al.*, 1987; Holmann *et al.*, 1990).

5.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1.- Validación del modelo

Los coeficientes de correlación entre los indicadores de mérito genético y VAN así como con la Función de Utilidad del Semen (SU) desarrollado por Rogers (1990), se muestran en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1.- Correlaciones de ranking para los indicadores de mérito genético con rentabilidad según VAN y SU.

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

¹Fuente: Rogers, (1990).

Según la Tabla 5.1 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 fluctúan 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 entre PV\$ y TPI, con el coeficiente entre VAN y TPI, ya que ambos índices (PV\$ y VAN) utilizan igual método de valoración del mérito por conformación (Tabla 5.2). 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 5.2.- 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\$ y TPI con la correlación entre VAN y 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 en parte la magnitud y el origen de la diferencia de las correlaciones de ranking SU-TPI y VAN-TPI (0,11), 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 rentabilidad aparece respaldada.

5.2.- .Caracterización de los niveles productivos sometidos a mejoramiento

5.2.1.- Producción promedio por lactancia y nivel productivo

La producción de leche y el contenido de sólidos de la primera, segunda y tercera lactancia para los cinco niveles productivos y para el nivel general de todas las observaciones, se muestra en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3.- Producción de leche y porcentaje de sólidos para la primera, segunda y tercera lactancia por nivel productivo (NP).

Lactancia	Producción de leche (l)			Grasa (%)			Proteína (%)		
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
NP1	6.263	7.403	8.042	3,80	3,81	3,79	3,24	3,33	3,29
NP2	7.461	8.819	9.580	3,77	3,77	3,76	3,26	3,35	3,30
NP3	9.614	11.365	12.345	3,64	3,65	3,63	3,29	3,38	3,33
NP4	11.417	13.495	14.659	3,47	3,47	3,46	3,21	3,30	3,25
NP5	13.223	15.630	16.978	3,18	3,19	3,18	3,27	3,36	3,31
General	7.321	8.654	9.401	3,74	3,75	3,73	3,29	3,38	3,34

Fuente: Estimado a partir de Verdugo, (2002).

La aplicación de factores de corrección utilizados para estimar la producción de leche y sólidos para la segunda y tercera lactancia a partir de la primera, causaron variaciones no sólo en el volumen de producción, sino que además resultó en una modificación del porcentaje de sólidos para cada una de las lactancias dentro de un mismo nivel productivo.

Como era de esperarse, a nivel general se aprecia un aumento sostenido del volumen, situación que se repite en todos los niveles productivos. No ocurre lo mismo si consideramos la producción de sólidos como porcentaje, en donde se aprecia un incremento en la segunda lactancia, seguida de la tercera. Se observa además que NP4 rompe con la tendencia de aumento del porcentaje de proteína a través de niveles productivos en las tres lactancias y NP5 es el único nivel en donde el contenido relativo de proteína sobrepasa a la grasa.

Es importante mencionar que en todos los niveles y lactancias se sobrepasa el porcentaje establecido como base en la pauta de pago para grasa (3,0%) y proteína (3,2%).

5.2.2.- Precio promedio de la leche por nivel productivo

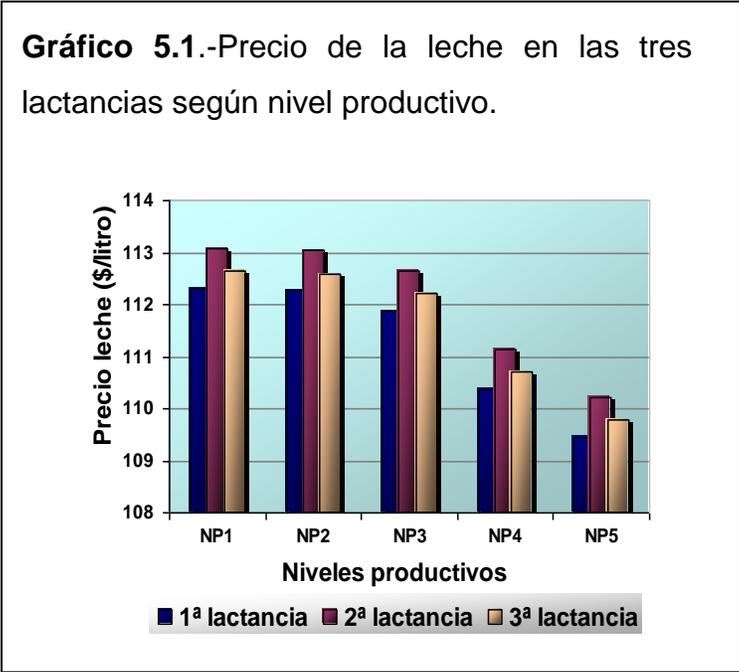
Los precios finales después de la bonificación por contenido de sólidos por nivel productivo y general para la primera, segunda y tercera lactancia se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4.- Pago por grasa, proteína y precio final del litro de leche en primera, segunda y tercera lactancia por nivel productivo y a nivel general.

Lactancia	Pago por grasa (\$/l)			Pago por Proteína. (\$/l)			Precio final (\$/l)		
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
NP1	4,00	4,03	3,96	0,33	1,05	0,69	112,3	113,1	112,6
NP2	3,83	3,86	3,79	0,46	1,18	0,82	112,3	113,0	112,6
NP3	3,20	3,23	3,16	0,70	1,43	1,06	111,9	112,7	112,2
NP4	2,35	2,37	2,30	0,05	0,76	0,41	110,4	111,1	110,7
NP5	0,92	0,95	0,88	0,54	1,27	0,90	109,5	110,2	109,8
General	3,71	3,74	3,67	0,74	1,47	1,10	112,4	113,2	112,8

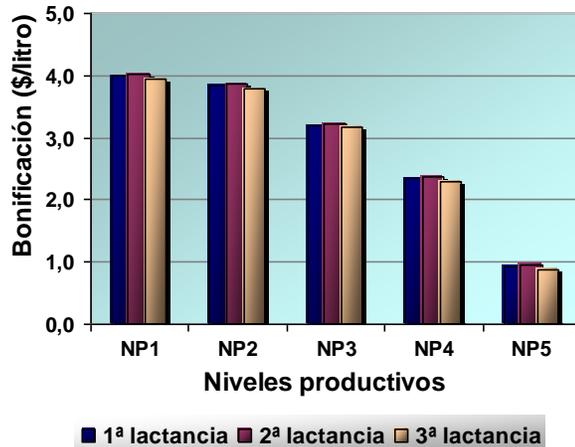
El precio de la leche alcanza el mayor valor en la segunda lactancia para todos los niveles productivos, fluctuando entre los \$109,45 en la primera lactancia de NP4 y sobre \$113 para la segunda lactancia de NP1 y NP2. Lo anterior coincide con los \$113 informados como precio real promedio pagado a productores de la X región durante el 2003 (ODEPA, 2004), ya que los dos últimos niveles mencionados representan el 89,7% de las 24.588 lactancias consideradas para estimar el precio de la leche por nivel productivo (Verdugo, 2002). El mayor aporte al total de las bonificaciones por sólidos lo hace la grasa, que a nivel general es entre 2 y 5 veces mayor que la bonificación por proteína.

Para apreciar mejor la tendencia del precio de la leche y las bonificaciones por grasa y proteína en las tres lactancias por nivel productivo se presentan los gráficos 5.1, 5.2 y 5.3, respectivamente.



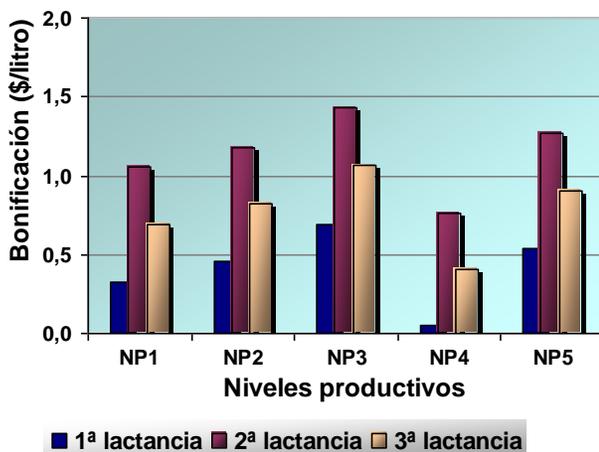
El precio por litro de leche tiende a disminuir a medida que aumenta el nivel productivo, siendo mayor en la segunda lactancia que en la tercera y esta última superando a la primera, debido a los porcentajes de sólidos calculados para cada una (Gráfico 5.1).

Gráfico 5.2.-Bonificación de la grasa por litro de leche en las tres lactancias por nivel productivo.



Con respecto a la bonificación por porcentaje de grasa, el Gráfico 5.2 muestra una tendencia a la baja a medida que progresa el nivel de producción del rebaño con un pago relativamente parejo entre lactancias, debido a la escasa diferencia de porcentaje observada entre ellas.

Gráfico 5.3.-Bonificación de proteína por litro de leche en las tres lactancias por nivel productivo.



El Gráfico 5.3 revela el comportamiento errático de la producción de proteína a través de los niveles productivos a partir de NP4 lo que repercute en una caída brusca de la bonificación por este sólido en el nivel mencionado; por otra parte es clara la superioridad de la segunda lactancia en cuanto a bonificación por litro de leche.

5.3.- Respuesta productiva esperada por nivel productivo

5.3.1.- Respuesta productiva sin efecto de Interacción Genotipo Ambiental

En la Tabla 5.5 se presenta la PMg de leche, grasa y proteína en la primera, segunda y tercera lactancia, respectivamente, simulando ausencia de IGA para producción de leche y sólidos ($\beta= 1$). Los valores se encuentran expresados en litros en el caso de la leche y kg en el de los sólidos y representan el desvío promedio de las hijas de todos los toros considerados en el estudio en relación a la producción antes del mejoramiento genético, en cada nivel productivo caracterizado. En el caso de PMg de sólidos los valores corresponden a los kg estimados a partir de las diferencias presentadas en el porcentaje de cada nivel correspondiente.

Tabla 5.5.--PMg de leche, grasa y proteína esperada en las hijas de todos los toros por nivel productivo y general para la primera, segunda y tercera lactancia sin incluir el efecto IGA ($\beta= 1$).

Lactancia	PMg de leche (l)			PMg de grasa (kg)			PMg de proteína(kg)		
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
NP1	729	861	936	-2,8	-4,4	-4,7	0,0	-1,2	-0,9
NP2	729	861	936	-2,6	-4,2	-4,5	-0,5	-1,4	-1,4
NP3	729	861	936	-1,9	-3,3	-3,6	-1,3	-1,7	-1,8
NP4	729	861	936	-0,7	-2,0	-2,1	1,0	-1,1	-0,7
NP5	729	861	936	1,2	0,3	0,3	-1,3	-1,6	-1,7
General	729	861	936	-2,5	-4,0	-4,3	-1,2	-1,7	-1,8

Para PMg de leche, los datos arrojados por la simulación, corresponden al PTA promedio de la población de sementales para la producción de leche corregido por el factor de conversión de kg a litros (0,97) y los factores de corrección para lactancias posteriores a la primera lactancia (1,182 y 1,284 para la segunda y tercera, respectivamente).

Por otra parte, la PMg de grasa resultó ser negativa en las tres lactancias de todos los niveles productivos. A nivel general el promedio por lactancia fue -2,5; -4 y -4,3 kg. La excepción la presentó el NP5, en donde se aprecia un leve incremento de 1,2; 0,3 y 0,3 kg para las tres lactancias. El mayor desmedro lo tiene NP1 con -2,8; -4,4 y -4,7 kg en la primera, segunda y tercera lactancia respectivamente.

En cuanto a la PMg de proteína, todos los niveles resultaron con cifras negativas salvo la primera lactancia del NP4, que aumentó la producción en 1kg y NP1 cuyo PMg para la primera lactancia resultó ser prácticamente 0. A nivel general se observa una disminución de 1,2; 1,7 y 1,8 kg en cada lactancia.

Cabe mencionar que el promedio de PMg de las hijas de los toros evaluados no corresponde exactamente a la diferencia entre la respuesta promedio y el valor porcentual del sólido para cada nivel productivo, ya que algunas diferencias no inciden sobre el PMg, porque las diferencias por debajo del valor establecido por la pauta de pago, no son valoradas positiva ni negativamente.

5.3.2.- Respuesta esperada con efecto de Interacción Genotipo Ambiental

La Tabla 5.6, muestra información acerca de PMg de leche y sólidos por lactancia, al incorporar el efecto de la Interacción Genotipo Ambiental mediante la inclusión de los coeficientes de regresión (β) para leche, grasa y proteína en cada nivel productivo.

Tabla 5.6.- PMg de leche, grasa y proteína esperada en las hijas de todos los toros por nivel productivo y general para la primera, segunda y tercera lactancia incorporando el efecto IGA.

Lactancia	PMg de leche (litros)			PMg de grasa (kg)			PMg de proteína(kg)		
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a
NP1	353	418	454	-1,7	-3,1	-3,4	-1,1	-1,9	-2,0
NP2	409	483	525	0,0	-1,2	-1,3	0,5	0,6	0,7
NP3	674	797	866	-9,9	-12,8	-13,8	0,7	0,9	0,9
NP4	364	430	467	2,0	1,3	1,4	-0,7	-11,9	-7,4
NP5	1.064	1.258	1.366	-16,6	-20,7	-21,9	14,1	17,1	18,3
General	413	488	531	-1,6	-3,0	-3,2	-0,2	-0,3	-0,3

La Tabla 5.6, indica que al incorporar el efecto IGA, el PMg de leche a nivel general desciende a 413, 488 y 531 litros, en la primera, segunda y tercera lactancia respectivamente con respecto a la situación sin IGA (Tabla 5.5). Por el contrario, debido a que el β para PTA de leche correspondiente a NP5 es mayor a 1 ($\beta=1,460$) este nivel presentó una PMg de 1.064, 1.258 y 1.366 kg en cada lactancia. En contraste, la menor producción se evidenció en NP1 cuyo β es de 0,485, seguido de NP4 que a pesar de ser un grupo de alta producción, el β estimado es sólo de 0,499.

La PMg de grasa a nivel general para todos los grupos, presentó valores de -1,6; -3,0 y -3,2 kg. El único grupo que presentó un mejoramiento real de la producción de grasa fue NP4 en las tres lactancias; esto se debe probablemente a que este grupo presenta una mayor respuesta a la selección en producción de grasa ($\beta= 0,585$) que en producción de leche ($\beta= 0,499$), lo que genera un aumento en la composición relativa del sólido si se compara con el rebaño antes del mejoramiento. Lo mencionado anteriormente, se complementa al observar que los niveles con la mayor respuesta en producción de leche; que son NP3 ($\beta= 0,925$) y NP5 ($\beta= 1,460$) son los grupos con mayores disminuciones promedio en PMg de grasa.

En el caso de la proteína la situación es diferente, ya que la respuesta a la selección presenta gran variabilidad entre niveles productivos. A nivel general, la PMg no sufrió cambios significativos, con -0,2 -0,3 y -0,3 kg en cada lactancia. La mayor PMg la tiene NP5 con 14,1; 17,1 y 18,3 kg en cada ciclo productivo, debido a que el coeficiente de respuesta a la selección resultó ser muy elevado ($\beta= 2,232$).

NP4 rompe con la tendencia de aumento de PMg de proteína que se observa en el resto de los niveles productivos, mostrando PMg de -0,7; -11,9 y -7,4 kg en cada lactancia, como consecuencia de que el coeficiente de respuesta a la selección en este grupo fue extremadamente bajo ($\beta= 0,003$). Es importante hacer la observación de que este nivel de respuesta no coincide con información de lactancias en Estados Unidos para igual nivel productivo; en el país del norte las respuestas para proteína resultaron muy superiores ($\beta= 1,299$), no encontrándose una explicación satisfactoria para tal diferencia (Verdugo, 2002).

A continuación se ilustra el comportamiento de la PMg a nivel general en ausencia de IGA (Gráfico 5.4) y en presencia de ella (Gráfico 5.5).

Gráfico 5.4.- PMg de leche, grasa y proteína en las tres lactancias a nivel general en ausencia de Interacción Genotipo Ambiental.

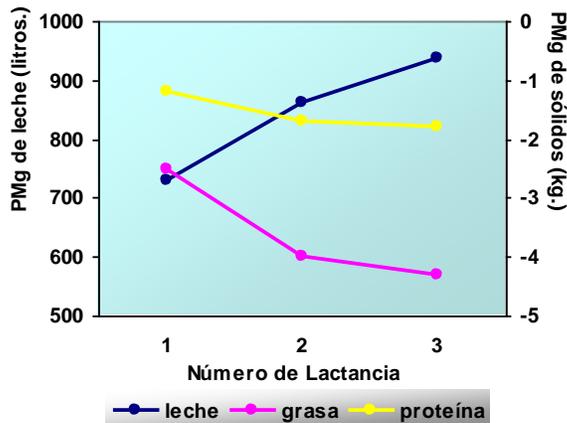
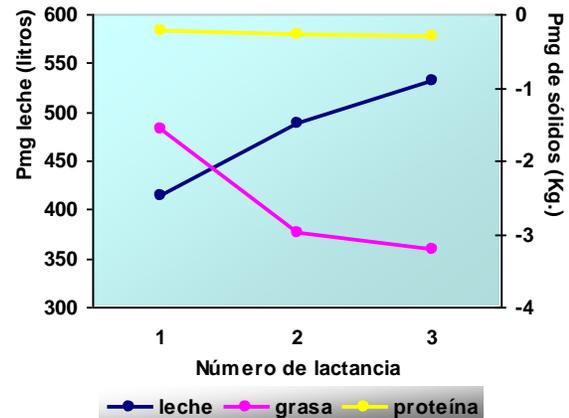


Gráfico 5.5.- PMg de leche, grasa y proteína en las tres lactancias a nivel general bajo condiciones de Interacción Genotipo Ambiental.



El Gráfico 5.4 muestra un aumento en la PMg de leche a medida que progresa el número de lactancia, presentándose la situación contraria para la producción de sólidos, como era de esperarse. También se puede observar que los valores de PMg para grasa y proteína son negativos en todas las lactancias y que la grasa es el sólido que presenta la mayor diferencia con la situación exhibida antes del mejoramiento.

En la situación con IGA se aprecia que a nivel general, existe una tendencia al aumento de la PMg por lactancia en el caso de la leche y una disminución para la grasa y en el caso de la proteína, la PMg se mantiene relativamente constante a través de las tres lactancias (Gráfico 5.5).

Al analizar el efecto de la IGA, es posible constatar que a pesar de que las magnitudes de la PMg para leche, grasa y proteína disminuyen, las tendencias respectivas a través de lactancias, la superioridad de la proteína por sobre la grasa y el signo negativo en PMg de sólidos se mantienen.

5.4.- VAN de la inversión en semen

5.4.1.- VAN promedio sin Interacción Genotipo Ambiental

En la siguiente tabla se aprecia el VAN promedio de los toros utilizados en el estudio y los indicadores de dispersión del VAN por nivel productivo, sin incorporar el efecto IGA.

Tabla 5.7.- Promedios, rangos y coeficientes de variación del VAN de la inversión en semen según nivel productivo, sin incluir el efecto IGA ($\beta= 1$).

	Promedio	Min.	Máx.	D.E.	C. V.
NP1	14.386	1.805	21.607	3.979,6	27,7
NP2	14.282	1.737	21.130	3.926,0	27,5
NP3	14.168	1.658	20.556	3.868,9	27,3
NP4	14.318	1.734	21.265	3.943,8	27,5
NP5	14.091	1.591	20.349	3.841,5	27,3
General	14.240	1.713	20.859	3.902,3	27,4

La Tabla 5.7 muestra un VAN promedio relativamente similar en todos los niveles productivos, situación que se explica porque la PMg de leche es constante para todos ellos y las diferencias existentes de PMg de sólidos generan cambios pequeños en el IMg. El rango de valores que alcanza el VAN a nivel general va desde los \$20.859 por dosis en el toro más rentable a los \$1.713 en el semental de menor rentabilidad. Una situación muy similar se puede encontrar en todos los niveles productivos por separado. Además, en estas condiciones de respuesta a la selección, ninguno de los toros presenta rentabilidad negativa.

En cuanto a la variabilidad del VAN entre toros, se encontró una D.E. de \$3.902 y un CV. de 27,4% parámetros que también se mantuvieron muy parecidos en todos los niveles productivos.

5.4.2.- VAN promedio con Interacción Genotipo Ambiental

En la siguiente tabla se aprecia el promedio e indicadores de dispersión del VAN por nivel productivo al incorporar el efecto IGA.

Tabla 5.8.- Promedios, rangos y coeficientes de variación del VAN de la inversión en semen según nivel productivo, incluyendo el efecto IGA de leche, grasa y proteína.

	Promedio	Min.	Máx.	D.E.	CV.
NP1	1.493	-12.730	6.564	3.091,9	207,1
NP2	4.028	-9.789	8.873	3.111,0	77,2
NP3	11.755	-867	17.572	3.725,2	31,7
NP4	1.560	-12.991	6.806	3.217,0	206,2
NP5	26.663	5.421	36.211	5.421,1	20,3
General	3.823	-10.019	8.716	3.125,7	81,8

En la Tabla 5.8 se observa una disminución notable de la rentabilidad promedio al incorporar el coeficiente de regresión de la respuesta a la selección (β). El VAN por dosis de semen representa sólo un 26,8% del valor esperado en la situación sin IGA ($\beta= 1$). Holmann *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 Holmann *et al.*, podría estrecharse si se tiene en cuenta que este estudio consideró IGA para producción de grasa y proteína. Los menores retornos económicos se obtuvieron en los NP1 y NP4 con 1.493 y 1.560 \$/dosis respectivamente, lo que se debe a que ambos niveles poseen las respuestas a la selección para producción de leche más bajas: 0,485 en NP1 y 0,499 en NP4. En cambio, el VAN promedio en NP5 es muy superior al resto de los niveles (26.663 \$/dosis) como consecuencia de presentar coeficientes de respuestas para leche, grasa y proteína de 1,460; 0,606 y 2,232, respectivamente.

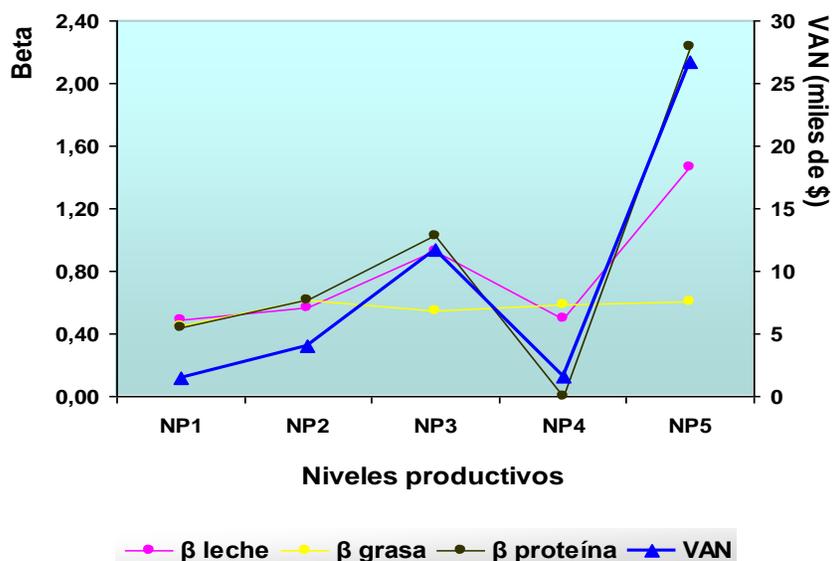
En cuanto a la variabilidad del VAN entre los toros se puede observar una disminución de la desviación estándar a nivel general cuando se incluye el efecto de Interacción Genotipo Ambiental (Tabla 5.8). Este comportamiento se repite en todos los niveles productivos, acentuándose la disminución de la variabilidad en los niveles con menor grado de respuesta a la selección. En NP5 el parámetro de dispersión mencionado aumenta, ya que es el único grupo cuyos coeficientes de respuesta a la selección para producción de leche y proteína son considerablemente superiores a la unidad, sin embargo, como el coeficiente de regresión que presenta para producción de grasa es menor a 1 (0,606) este efecto se hace menos evidente de lo esperado. A esto se suma la forma del pago de sólidos considerada en el cálculo del ingreso marginal, que disminuye la asociación positiva entre el coeficiente de respuesta a la selección y la variabilidad del VAN. Considerando lo anterior, los resultados se explican por la evidencia encontrada en rebaños de Latinoamérica y Estados Unidos (Verdugo, 2002; Stanton *et al.*, 1991 a), en donde los coeficientes de respuesta a la selección más altos fueron asociados con altos niveles de variabilidad de producción.

Al expresar la variabilidad como coeficiente de variación se observa exactamente lo contrario a lo señalado anteriormente, esto radica 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.

5.4.3.- Relación entre Interacción Genotipo Ambiental y VAN

El gráfico 5.6 muestra el coeficiente de regresión de la respuesta productiva de las hijas de un toro sobre su PTA (β) 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 β 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 5.6.- Promedio del VAN de todos los toros y los β a través de los niveles productivos.



5.4.3.1.- 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 5.9.-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

La tabla anterior muestra que todos los niveles productivos presentan correlaciones altas para ambos escenarios de respuesta a la selección. Sin embargo, las correlaciones cercanas a la unidad, sólo se encuentran en NP3 y NP5 en donde los β para leche y proteína son casi iguales o superiores a 1. A nivel general, la correlación alcanzó un coeficiente de 0,89. La correlación más baja se obtuvo en NP1 (0,79) debido a que presenta el menor β para producción de leche (0,485).

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.

5.5.- Relación entre el precio del semen, VAN e indicadores de mérito genético

Con el fin de apreciar la conveniencia de adoptar determinadas políticas de selección en las condiciones de rebaño establecidas, se simuló distintos niveles de intensidad de selección. Para tal efecto, se ordenaron los sementales según precio del semen, PTA de leche, PTA de grasa, PTA de proteína, PTA de conformación y TPI. Luego se calculó el VAN promedio para los primeros y últimos grupos de las listas mencionadas, para compararlas posteriormente, con el VAN de todos los toros considerados en el estudio.

5.5.1.- Relación entre precio del semen y rentabilidad

La Tabla 5.10 muestra el precio del semen y el VAN promedio de los toros agrupados según su posición en el ranking por precio del semen, en los distintos niveles productivos. Se muestran los promedios de los cinco y diez toros de mayor precio (1-5 y 1-10) y los diez y cinco toros de menor precio (37-46 y 42-46). En la tabla también se incluye el precio del semen y el VAN promedio de los 46 toros utilizados en el estudio.

Tabla 5.10.-VAN promedio de los grupos superiores, inferiores y de todos los toros ordenados por precio del semen a través de niveles productivos.

		Intensidad de selección por ranking de precio del semen				
		1-5	1-10	Todos	37-46	42-46
Precio del semen (Miles de \$/dosis)		16,5	14,4	9,9	6,6	5,7
VAN promedio (miles de \$)	NP1	-2,9	-1,4	1,6	3,8	5,0
	NP2	0,2	1,5	4,1	6,1	7,3
	NP3	9,5	10,4	11,7	13,3	14,7
	NP4	-2,8	-1,1	1,7	3,7	5,2
	NP5	27,7	27,2	26,4	27,1	28,5
General		0,0	1,3	3,9	5,9	7,2

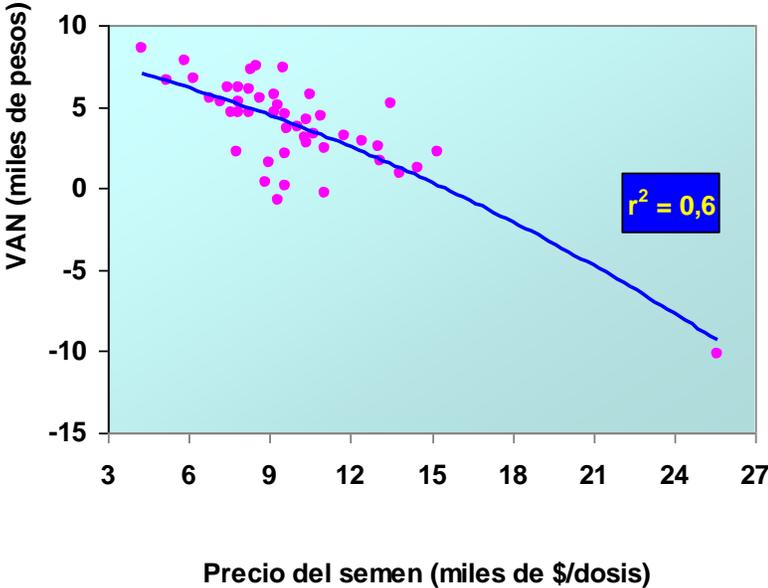
El valor promedio del semen en todos los toros fue de \$9.900 aumentando a \$14.400 y \$16.500 en los 10 y 5 toros con las dosis de mayor costo, respectivamente. Esto que significa un incremento de un 31 y un 40%, respectivamente, si lo comparamos con el promedio de toda la población. En el grupo inferior del ranking, el valor del semen fue de \$6.600 y \$5.700 para los 10 y 5 menores valores por dosis, lo que significa una disminución en relación al promedio de todos los padres de un 33 y 42% respectivamente.

El VAN promedio es menor para aquellos ejemplares que se encuentran en los dos grupos superiores del ranking, alcanzando incluso valores negativos en los niveles productivos 1 y 4. A nivel general, se observa un valor negativo solamente en los cinco toros de precio más alto. Por otra parte, el NP5 es el único nivel que aumenta su rentabilidad en términos absolutos al seleccionarse los toros del grupo superior del ranking, sin embargo, el aumento es leve y no se condice con el alto valor en la inversión.

Los resultados sugieren que bajo estas condiciones de rebaño, los toros más rentables, corresponden a aquellos de más bajo precio en su dosis de semen y que esta tendencia se manifiesta con mayor fuerza en aquellos niveles productivos con una menor respuesta a la selección. Estos resultados indican además, que los toros de mayor valor en la dosis de semen no resultan rentables al ser introducidos en ambientes de rebaño de bajo nivel productivo y que en niveles de alta producción, como NP5, todos los toros resultan ser altamente rentables.

El Gráfico 5.7 proporciona información acerca de la relación entre el precio de la dosis de semen y el VAN para el nivel general, donde se corrobora una clara tendencia de disminución del VAN a medida que aumenta el precio por dosis.

Gráfico 5.7.-Relación entre el VAN y precio de la dosis de semen de los toros a nivel general.



5.5.2.- Relación entre indicadores de mérito genético y rentabilidad

5.5.2.1.- VAN según PTA de leche

La tabla 5.11 presenta datos referentes al valor promedio de PTA de leche y la rentabilidad promedio de los toros agrupados según la posición en el ranking por PTA de leche, en los distintos niveles productivos. Se muestran los promedios de los cinco y diez toros superiores (1-5 y 1-10) y los diez y cinco toros inferiores (37-46 y 42-46). También se incluye el VAN promedio y PTA de leche de todos los sementales analizados.

Tabla 5.11.-VAN promedio de los grupos superiores, inferiores y de todos los toros ordenados por PTA de leche según nivel productivo.

		Intensidad de selección por ranking de PTA de leche				
		1-5	1-10	Todos	37-46	42-46
Promedio PTAI (kg)		1.059	991	751	474	370
VAN promedio (miles de \$)	NP1	3,7	2,6	1,6	0,5	-1,3
	NP2	6,6	5,5	4,1	2,4	0,6
	NP3	16,0	14,5	11,7	7,8	5,8
	NP4	4,1	2,9	1,7	0,3	-1,5
	NP5	34,0	31,8	26,4	18,6	16,3
General		6,4	5,3	3,9	2,2	0,4

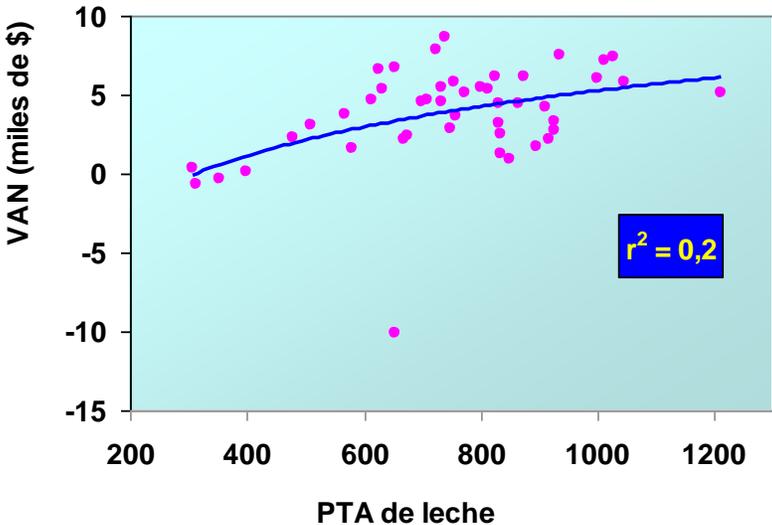
En la tabla anterior se observa un PTA de leche promedio de 751 kg para los 46 toros.

Analizando los promedios de rentabilidad de los cuatro grupos del ranking a nivel general, se aprecia que el VAN de los grupos superiores del ranking es claramente mayor a los grupos inferiores y al promedio de todos los toros. Este comportamiento se repite en todos los niveles productivos, manteniendo las proporciones con los niveles de rentabilidad derivados de la respuesta a la selección en cada uno. En el último grupo del ranking en el NP 1 y 4, se observa un VAN negativo de \$1.300 y \$1.500 en cada uno.

De lo anterior se desprende que la selección de toros con un mayor mérito genético para producción de leche genera mayores retornos económicos netos que al seleccionar toros con un potencial genético bajo, en los escenarios de rebaño y las condiciones de pago existentes en Chile.

El gráfico 5.8 presenta el comportamiento de la rentabilidad al aumentar el PTA de leche en el nivel general, ilustrando la relación directa aunque débil, que existe entre VAN y mérito para producción de leche.

Gráfico 5.8.- Relación entre el VAN y PTAI de los toros en el nivel general.



5.5.2.2.- VAN según PTA de grasa

La tabla 5.12 presenta la rentabilidad promedio de los toros agrupados según la posición en el ranking por PTA de grasa, en los distintos niveles productivos. Se observan los cinco y diez toros superiores (1-5 y 1-10) y los 10 y 5 toros inferiores (37-46 y 42-46). Además se incluyen los promedios de VAN y PTA de grasa considerando los 46 sementales estudiados.

Tabla 5.12.-VAN promedio de los grupos superiores, inferiores y de todos los toros ordenados por ranking de PTA de grasa según nivel productivo.

		Intensidad de selección por ranking de PTA de grasa				
		1-5	1-10	Todos	37-46	42-46
Promedio PTA_g (kg)		36	33	23	15	13
VAN (miles de \$)	NP1	0,7	1,5	1,6	2,6	3,9
	NP2	3,6	4,3	4,1	5,0	6,2
	NP3	11,7	12,3	11,7	12,6	14,1
	NP4	1,0	1,7	1,7	2,5	3,9
	NP5	27,3	27,8	26,4	27,2	29,0
General		3,3	4,0	3,9	4,8	6,1

Se observa un PTA de grasa promedio de 23 kg en todos los toros. En los dos grupos superiores del ranking, los promedios fueron de 36 y 33 kg en los 5 y 10 toros con el mayor mérito genético en producción de grasa. En cuanto a los 10 y 5 últimos toros en la lista, los promedios alcanzaron los 15 y 13 kg respectivamente.

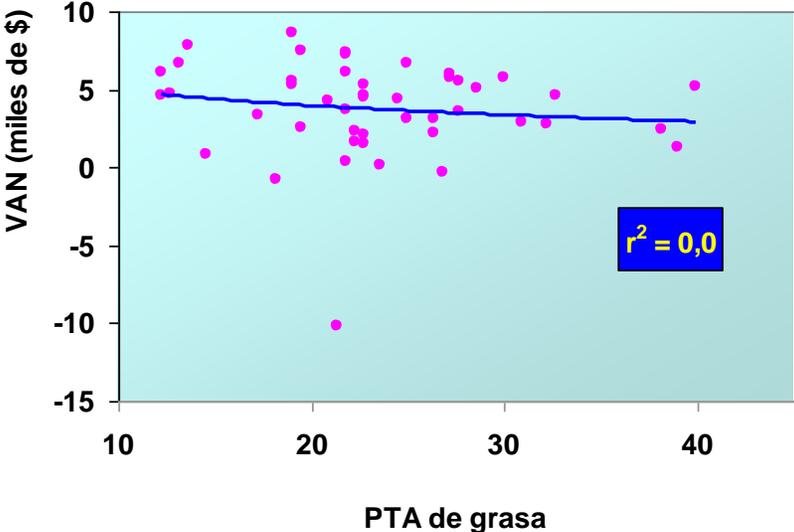
En todos los niveles productivos, se constata un aumento de la rentabilidad promedio a medida que el valor promedio de PTA de grasa disminuye; por ejemplo a nivel general en el primer grupo del ranking (1-5), la rentabilidad promedio disminuye un 15% al compararlo con la totalidad de los sementales. Si se hace la misma comparación en los demás grupos del ranking, los resultados son de aumento del VAN de un 2% para el segundo grupo superior (1-10); 23% en el primer grupo inferior (37-46) y 56% en el grupo de mérito más bajo (42-46).

El aumento de la rentabilidad a medida que decrece la intensidad de selección para producción de grasa es mayor en términos relativos en los niveles productivos que presentan menores coeficientes de respuesta a la selección, principalmente en producción de leche. Esto último se explica porque el valor del semen es mayor en aquellos toros con un PTA de grasa superior y porque en niveles productivos donde la respuesta a la selección es baja, la inversión tiene una mayor influencia sobre el retorno económico neto que en los niveles que presentan mejores respuestas.

La otra causa de la influencia negativa aparente que tiene la intensificación de la selección para producción de grasa en términos de rentabilidad, es que el aumento de la producción de grasa en términos absolutos no genera necesariamente un ingreso adicional, debido a que el pago de grasa se hace efectivo considerando su porcentaje en la leche.

El Gráfico 5.9 señala la rentabilidad a medida que aumenta el PTA de grasa a nivel general. La gráfica no constata una relación significativa entre PTA de grasa y VAN, a pesar de que los resultados presentados en la tabla 5.12 indican que el VAN disminuye en los grupos de mayor mérito genético. Lo anterior se explica porque al considerar las variables por cada toro y no como promedio de grupo, la dispersión del VAN aumenta. Esto provoca que su relación con el indicador genético disminuya, siendo esto válido para todos los indicadores analizados. De cualquier modo, los resultados indican que el mérito genético para producción de grasa, no es un estimador confiable de la rentabilidad de la inversión en semen.

Gráfico 5.9.- Relación entre el VAN y PTA de los toros en el nivel general.



5.5.2.3.- VAN según PTA de proteína

La tabla 5.13 presenta la rentabilidad promedio de los toros agrupados según la posición en el ranking por PTA de proteína en los distintos niveles productivos. Se consideraron dos grupos superiores (1-5 y 1-10) y dos grupos inferiores (37-46 y 42-46). La tabla incluye además, los promedios de VAN y PTA de proteína considerando todos los toros.

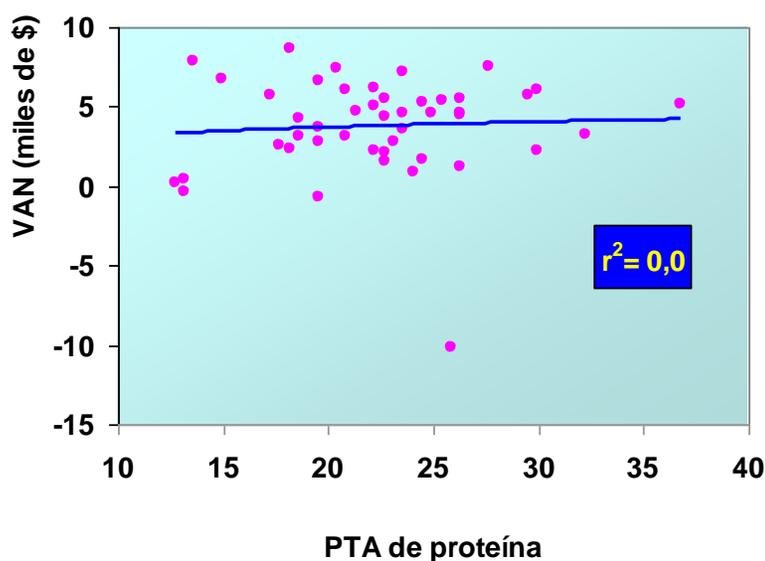
Tabla 5.13.-VAN promedio de los grupos superiores, inferiores y de todos los toros ordenados por ranking de PTA de proteína, según nivel productivo.

		Intensidad de selección por ranking de PTA de proteína				
		1-5	1-10	Todos	37-46	42-46
Promedio PTA_p (kg)		32	29	22	16	14
VAN promedio (miles de \$)	NP1	1,5	2,0	1,7	2,0	2,1
	NP2	4,5	4,9	4,2	4,4	4,4
	NP3	13,7	13,8	11,8	11,9	11,3
	NP4	1,4	2,0	1,7	2,5	2,4
	NP5	31,7	31,2	26,6	26,0	24,4
General		4,3	4,7	4,0	4,2	4,2

El promedio de PTA de proteína fue de 22 kg en todos los toros. A nivel general el VAN promedio en cada grupo del ranking es superior que al considerar a todos los toros, y la diferencia de rentabilidad entre el grupo superior (1-5) y el inferior (42-46) del ranking es muy leve. En NP1 y NP4 los grupos de toros con menores promedios del ranking de PTA de proteína presentan una rentabilidad mucho más alta que los grupos superiores. NP3 y NP5 son los únicos niveles en donde el mayor mérito genético presenta una relación con el aumento de la rentabilidad; lo que se explica por el alto coeficiente de respuesta a la selección para producción de proteína que presenta cada uno.

La poca importancia de la intensificación de la selección para producción de proteína cuando el objetivo es maximizar la rentabilidad, así como el efecto negativo del mejoramiento de esta característica observado en NP1 y NP4, tiene una causa similar a lo que se produce en el caso de la grasa. El Gráfico 5.10 revela la tendencia de la rentabilidad a medida que aumenta el PTA de proteína a nivel general, no acusando relación significativa entre PTA de proteína y VAN.

Gráfico 5.10.- Relación entre el VAN y PTAp de los toros en el nivel general.



5.5.2.4.- VAN por PTA de conformación

La Tabla 5.14 señala la rentabilidad promedio de los toros agrupados según la posición en el ranking por PTA de conformación (puntaje final) en los distintos niveles productivos. Se muestran de cinco y diez toros superiores (1-5 y 1-10) y los diez y cinco toros inferiores (37-46 y 42-46), al ser ordenados por el indicador de mérito genético mencionado. La tabla incluye también los promedios de VAN y PTAc considerando los 46 sementales estudiados.

Tabla 5.14.-VAN promedio de los grupos superiores, inferiores y de todos los toros ordenados por ranking de PTA de conformación según nivel productivo.

		Intensidad de selección por ranking de PTA de conformación				
		1-5	1-10	Todos	37-46	42-46
Promedio PTAc (puntaje final)		1,90	1,80	1,18	0,56	0,42
VAN promedio (miles de \$)	NP1	-0,1	0,5	1,6	1,7	1,4
	NP2	2,4	3,2	4,1	4,2	4,1
	NP3	10,7	11,5	11,7	11,5	12,0
	NP4	0,1	0,9	1,7	1,5	1,3
	NP5	26,4	27,4	26,4	25,8	27,6
	General	2,2	3,0	3,9	3,9	3,9

La tabla anterior indica que el PTAc al promediar el valor de todos los toros fue de 1,18.

La menor rentabilidad resultó ser de los 5 toros con mayor mérito de conformación, seguido del segundo grupo (1-10) con \$2.200 y \$3.000 respectivamente. Por su parte, los grupos inferiores obtuvieron los VAN promedio más altos, cuyas rentabilidades promedio a nivel general alcanzaron los \$3.900 en ambos casos. Esto significa que la selección de toros con mayor mérito de conformación produce una disminución del VAN en relación a la selección de toros con bajo potencial para la característica mencionada.

Blake *et al.* (1987), estimaron el costo de oportunidad que genera la disminución del mejoramiento de la producción de leche por la intensificación de la selección para PTA de conformación en ganado Holstein. Ellos concluyeron que se produce una disminución promedio del ingreso neto por producción de leche de un 4, 5, 22 y 64% en los 20 mejores toros según PV\$ al cambiar la importancia relativa de PTA de leche: PTA de conformación desde 1:0 a 10:1, 6:1, 3:1 y 1:1, respectivamente.

Lo anterior significa que al intensificar la selección por conformación se produce una disminución promedio del mérito genético para características de producción de leche en los ejemplares seleccionados, lo que coincide con lo observado en este estudio, ya que los promedios de PTA de leche fueron de 687, 723, 913 y 928 kg en los 5 mejores, 10 mejores, 10 últimos y 5 últimos toros del ranking por conformación respectivamente.

A pesar de lo expuesto anteriormente, se observa mayor rentabilidad en los últimos diez sementales (37-46) del ranking, que en los últimos cinco (42-46) para los niveles NP1 y NP4. Esto se explica porque el valor promedio del semen es menor en el caso de los últimos diez en el ranking por conformación en comparación a los últimos cinco, lo que se manifiesta en una disminución del VAN en aquellos niveles productivos con IMg más bajo. Para aclarar la situación se presenta la siguiente tabla.

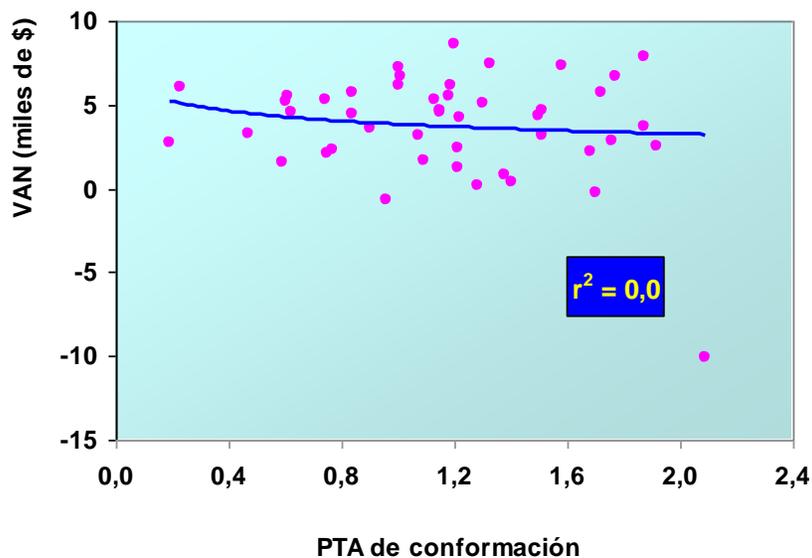
Tabla 5.15.-PTAI y precio de la dosis de semen promedio en cada tramo del ranking según PTA de conformación.

Posición en el ranking por		
PTAc	Promedio de PTAI	Precio del semen promedio
1-5	687	12.154
1-10	723	11.816
37-46	813	9.133
42-46	928	10.343

El Gráfico 5.11 exhibe la rentabilidad a medida que aumenta el PTA de conformación a nivel general, no manifestándose una variación significativa del retorno económico al aumentar el mérito por conformación.

Los coeficientes de regresión sobre el VAN observados en los tres últimos casos (PTAg, PTAp y PTAc), dejan ver su ineficiencia como estimadores de la rentabilidad de la inversión en semen.

Gráfico 5.11.- Relación entre el VAN y PTAc de los toros en el nivel general



5.5.2.5.- VAN por TPI

La Tabla 5.16 señala la rentabilidad promedio de los toros agrupados según la posición en el ranking por TPI, en los distintos niveles productivos. Se muestran los grupos superiores (1-5 y 1-10) e inferiores del ranking (35-44 y 40-44), al ser ordenados por el índice mencionado. También se incluyen los promedios de VAN y TPI considerando los 44 sementales con TPI disponible para Noviembre de 2003.

Tabla 5.16.- VAN promedio de los grupos superiores e inferiores de 44 de los 46 toros utilizados en el estudio, ordenados por ranking de TPI según nivel productivo.

		Intensidad de selección por ranking de TPI				
		1-5	1-10	Todos	37-46	42-46
Promedio de TPI		1.691	1.615	1.480	1.314	1.274
VAN promedio (miles de \$)	NP1	-2,2	-0,4	1,5	1,9	3,3
	NP2	0,9	2,5	4,0	4,2	5,7
	NP3	10,3	11,1	11,6	11,0	13,4
	NP4	-2,0	-0,3	1,6	2,0	3,6
	NP5	28,3	27,8	26,3	24,2	27,7
General		0,7	2,2	3,8	4,0	5,5

El promedio de TPI de los toros con información disponible del índice en la última evaluación de 2003 es de 1.480 al considerar los 44 padres, 1.691 en los 5 toros de mayor TPI, 1.615 en los mejores 10, 1.314 en los 10 últimos del ranking y 1.274 en los 5 con el menor índice.

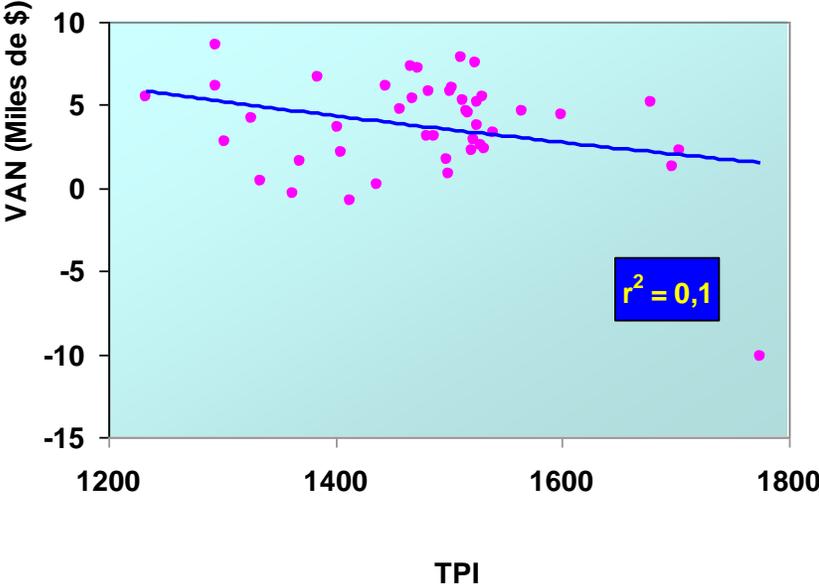
A nivel general el promedio de rentabilidad bordea los \$3.800 para todos los toros, lo que supera en un 82% al VAN obtenido en los cinco mejores y en un 42% al promedio de los 10 mejores sementales según el índice. Al comparar el promedio de todos los toros con los grupos inferiores, el primero es superado en alrededor de un 5% por el primer grupo inferior (35-44) y en un 45% por el segundo grupo inferior (40-44).

La menor rentabilidad al intensificar la selección por TPI se repite en NP2 y en menor medida en NP3; incluso en NP1 y NP4 se observa rentabilidad negativa en los dos grupos superiores. La excepción la constituye NP5, que presenta mejoras en la rentabilidad en los grupos superiores en relación a todos los toros y al último grupo del ranking.

Esto implica que frente a los grados de respuesta a la selección presentados en la mayoría de los niveles productivos analizados, la selección por TPI genera una disminución de la rentabilidad de la inversión en semen, especialmente en los niveles productivos con menores coeficientes de respuesta a la selección, lo que se debe, principalmente, al alto valor del semen de los toros con altos TPI.

En el gráfico 5.12 se observa la variación de la rentabilidad a medida que aumenta el TPI a nivel general, poniendo en evidencia una leve disminución del VAN al aumentar el índice mencionado. El bajo coeficiente de regresión observado indica la baja confiabilidad del TPI como estimador de la rentabilidad.

Gráfico 5.12.- Relación entre el VAN y TPI de los toros a nivel general.



5.5.3.- Correlación de rankings por VAN y criterios de selección

En la Tabla 5.17 se presenta los coeficientes de correlación entre los rankings según distintos criterios de selección y VAN.

Tabla 5.17.-Correlación de ranking entre VAN, indicadores de mérito genético y precio del semen por niveles productivo y en general.

	Niveles productivos					General
	NP1	NP2	NP3	NP4	NP5	
PTAI	0,27	0,37	0,58	0,32	0,73	0,37
PTAg	-0,20	-0,16	-0,13	-0,14	-0,07	-0,18
PTAp	0,01	0,07	0,15	-0,04	0,27	0,07
PTAc	-0,09	-0,06	0,03	-0,04	0,13	-0,06
PTAg%	-0,46	-0,50	-0,61	-0,45	-0,66	-0,52
PTAp%	-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

La tabla anterior indica que las correlaciones en su mayoría son negativas, presentando signo positivo solamente la correlación del VAN con PTAI y PTAp, siendo esta última prácticamente igual a 0. En el nivel general, la correlación entre ranking por VAN y precio del semen resulta ser la más 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 PTAI con un índice de 0,37 a nivel general. Es posible apreciar también que la correlación entre rentabilidad y PTAI aumenta junto con la respuesta a la selección para PTAI de cada nivel productivo.

En el caso de PTAg se observan correlaciones negativas en todos los niveles productivos, pero más cercanas a cero en los niveles con mayor β en producción de

grasa. El PTA_p 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 β , 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.

Al correlacionar los rankings por VAN con los rankings de PTA% de ambos sólidos, los índices son altos y negativos, siendo el PTA%_p el más cercano a 0 de los dos, situación esperable ya que en el caso de los PTA_g y PTA_p, 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%_g y PTA%_p (-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 una vez más, 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.

Las correlaciones obtenidas por Rogers (1990), entre los indicadores de mérito genético y rentabilidad bajo distintas condiciones de rebaño, fluctuaron entre 0,36 y 0,68 para PTAI; entre 0,31 y 0,52 para PTA_g; entre 0,46 y 0,62 para PTA_p; entre -0,23 y 0,03 para PTA_g; entre -0,30 y 0,13 en PTA_p; entre -0,24 y 0,01 para conformación y entre 0,35 y 0,62 en el caso de la correlación de ranking con TPI. Al compararlos con los resultados obtenidos en esta memoria, las correlaciones coinciden en cuanto a su signo en el caso de PTAI, PTA_g, PTA_p y PTA_c, sin embargo cuando se trata de los sólidos en forma absoluta y TPI la situación cambia, observándose diferencias considerables. La causa de esto, es atribuible principalmente al alto precio que alcanza la dosis de semen en los toros más meritorios según los parámetros genéticos aludidos y a la fórmula de pago de sólidos que se aplica en nuestro país.

5.6.- Efecto de la fertilidad sobre el VAN

5.6.1.- Valor de la inversión y fertilidad

La Tabla 5.18, muestra la cantidad de inseminaciones promedio necesarias para obtener una hembra de reemplazo y el valor de la inversión promedio por reemplazo de todos los toros utilizados en el estudio, bajo distintas condiciones de fertilidad.

Tabla 5.18.-Número de inseminaciones (N) y valor de la inversión por reemplazo según Porcentaje de Preñez Total (PPT)

	Fertilidad del rebaño (PPT)						
	20	25	30	35	40	45	50
N	10,5	8,4	7,0	6,0	5,3	4,7	4,2
Inv. promedio (miles de \$)	104,1	83,3	69,4	59,5	52,0	46,3	41,6

En la Tabla 5.18 se aprecia que al aumentar la fertilidad de un 20 a un 50% el valor de N disminuye en un 60%, lo que genera igual fluctuación en el valor de la inversión. En las condiciones de fertilidad fijadas en la situación base (PPT= 40%) la inversión en semen por hembra de reemplazo, alcanzó cifras cercanas a los \$52.000.

5.6.2.- Sensibilidad del VAN a los cambios de fertilidad

La tabla 5.19 proporciona información de los resultados obtenidos acerca de la sensibilidad del VAN a cambios en la fertilidad del rebaño.

Tabla 5.19.- VAN promedio de los 46 toros bajo distintas condiciones de fertilidad del rebaño, según porcentaje de preñez total (PPT) por nivel productivo.

		Fertilidad del rebaño (PPT)						
		20	25	30	35	40	45	50
VAN (miles de \$)	NP1	-4,2	-2,8	-1,4	0,1	1,5	2,9	4,3
	NP2	-2,9	-1,2	0,5	2,3	4,0	5,8	7,5
	NP3	0,9	3,6	6,3	9,0	11,8	14,5	17,2
	NP4	-4,2	-2,7	-1,3	0,1	1,6	3,0	4,4
	NP5	8,4	13,0	17,5	22,1	26,7	31,2	35,8
	General	-3,0	-1,3	0,4	2,1	3,8	5,5	7,3

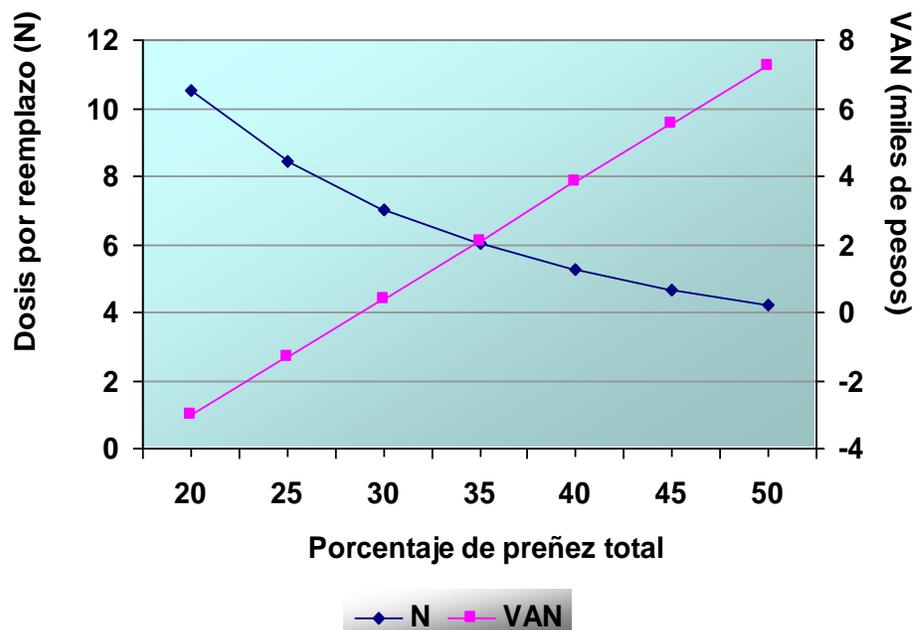
El VAN a nivel general fluctúa entre \$-3.000 y \$7.300 por dosis de semen cuando el PPT varía entre un 20 y un 50%; al mismo nivel la rentabilidad es negativa frente a una fertilidad menor al 30%, lo que se repite en NP2. En NP1 y NP4 se observa rentabilidad negativa por debajo del 35% de fertilidad, 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 donde 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.

El gráfico 5.13 permite apreciar la relación entre la fertilidad del rebaño y el número de dosis necesarias para producir una hembra de reemplazo en el rebaño. También cómo este parámetro tiene una relación lineal directa con el VAN.

Gráfico 5.13.- VAN a nivel general y valor de N según fertilidad del rebaño expresada como PPT



Los resultados obtenidos, permiten afirmar que 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.

6.- CONCLUSIONES

En relación a los objetivos planteados, se desprende de los resultados obtenidos que:

- El ordenamiento de toros por VAN demostró ser un método eficiente, cuando el objetivo es maximizar la rentabilidad de la inversión en mejoramiento genético, al ser comparado con otros métodos.
- El VAN promedio de los toros disminuye a medida que decrece el coeficiente de respuesta a la selección (β), debido a que provoca una disminución del producto marginal con igual monto de inversión. Lo anterior demuestra que el mejoramiento genético, para ser rentable, requiere un nivel de manejo del rebaño acorde con el valor del potencial genético introducido.
- 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 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. Esto sugiere que la inversión en semen de alto valor no es en general, una buena alternativa, si el objetivo de la lechería es aumentar su eficiencia financiera.
- 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 (β) es menor a 1.
- La sensibilidad del VAN frente a cambios en la fertilidad del rebaño, varía de acuerdo al grado de Interacción Genotipo Ambiental que éste presente.

7.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Amer, P. R.; G. C. Fox y C. Smith.** 1994. Economic weights from profit equations: appraising their accuracy in the long run. *Anim. Prod.* 58: 11-18.
2. **Anón.** 2002. El verdadero peso de la agricultura. *Revista del Campo.* 1350: 8.
3. **Anrique, R.; L. Latrille; O. Balocchi; D. Alomar; V. Moreira; R. Smith; D. Pinochet y G. Vargas.** 1999. Competitividad de la producción lechera nacional. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias.
4. **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].
5. **Bakker, J.; R. Everett; L. Van Bleck.** 1980. Profitability index for sires. *J. Dairy Sci.* 63: 1334-1341.
6. **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]
7. **Barría, N.; J. Ahumann; H.U. Graser; G. Stolzenbach.** 1994. Evaluación genética de toros lecheros de diferentes orígenes y tendencia genética de la producción láctea en la X Región (Chile). *Avances en Prod. Animal* 20: 67-73.
8. **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
9. **Bennett, R.** 1992. The use of "economic" quantitative modelling techniques in livestock health and disease-control decision making: a review. *Prev. Veterinary Medicine.* 13: 63-76.
10. **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.
11. **Campos, A; A. Beck y S. Hausdorf.** 1995. Análisis económico de la producción lechera en predios de la zona central de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 55 (2): 140-146.

12. **Capitaine, A.** 2000. Impacto económico de la eficiencia reproductiva en sistemas lecheros intensivos de la zona central de Chile. Tesis para optar al grado de Magíster en Producción Animal Santiago, Chile. P. U. Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. 110 p.
13. **Concha, H.** 1990. Evaluación de la eficiencia reproductiva en rebaños lecheros comerciales. Segunda parte. Informativo Agropecuario Bioleche 9: 11-14.
14. **Díaz, I.** 2002. Documentos sectoriales. Santiago, Chile. U. de Chile, Facultad de Cs. Veterinarias y Pecuarias, Depto. Fomento Producción Animal. 74 p. (Apuntes Docentes Gira Profesional Curricular 2002).
15. **Dirven, M.** 2002. Apertura económica y encadenamientos productivos. Primera edición. Cepal. Santiago. Chile.
16. **Doll, J. P. y F. Orazem.** 1984. Production Economics. Segunda edición. Jhon Wiley & Sons, Inc., Singapur.
17. **Falconer, D. S.** 1970. Introducción a la genética cuantitativa. Primera edición en español. Editorial Continental, México.
18. **Fontaine, E.** 1992. Evaluación social de proyectos. Octava edición. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile
19. **Franck, R.** 1999. The ins and outs of indexes. Dairy Herd Management. Marzo: 38-42.
20. **Gittinger, J.** 1982. Economic analysis of agricultural projects. Segunda edición. The Johns Hopkins University Press. Maryland, USA. 445 p.
21. **González, C.** 1993. Comparación de indicadores reproductivos y productivos y análisis de su relación en 3 líneas genéticas (Frisón Negro, 25% Holstein y 50% Holstein) de ganado bovino en la X Región (Chile). Memoria para optar al título profesional de Médico Veterinario. Santiago, Chile. U. de Chile, Facultad de Cs. Veterinarias y Pecuarias. 105p.
22. **González, R.** 1989. Evaluación técnico-económica de dos sistemas de producción de leche en la zona central de Chile. Memoria para optar al título profesional de Médico Veterinario. Santiago, Chile. U. de Chile, Facultad de Cs. Veterinarias y Pecuarias. 86 p.
23. **Groen, A. F.** 1988. Derivation of economic values in cattle breeding: A model at farm level. Agricultural Systems. 27: 195-213.
24. **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.

25. **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.
26. **Guzmán, A.** 1990. Selección de toros para características de producción y tipo que mejoran la rentabilidad de rebaños lecheros comerciales. *Informativo Agropecuario Bioleche* 12: 11-13.
27. **Hausdorf, S.** 1992. Estudio técnico económico de casos prediales de producción lechera en la zona central. Tesis para optar al grado de Licenciado en Agronomía. Valdivia, Chile. U. Austral de Chile, Facultad de Agronomía. 63 p.
28. **Hazel, L. N.** 1943. The genetic basis for construction of selection indices. *Genetics.* 28: 476-490.
29. **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.
30. **Holstein Association USA, Inc.** 2003. Holstein Type-Production Sire Summaries. Vermont USA. 192 p.
31. **Hott, G.** 1998. Diseño e implementación de un sistema computarizado con coeficientes técnicos de producción y evaluación económica de lecherías del sur de Chile. Tesis para optar al grado de Licenciado en Agronomía. Valdivia, Chile. U. Austral de Chile, Facultad de Agronomía. 194 p.
32. **Jara, A.** 1999. Impacto de la interacción genético ambiental sobre producción y calidad láctea en una población multirracial de vacas lecheras. Memoria para optar al título profesional de Médico Veterinario. Santiago, Chile. U. de Chile, Fac. Ciencias Veterinarias y Pecuarias. 226 p.
33. **Klein, F; F. Lanuza y H. Navarro.** 1998. Sistema intensivo para la Décima Región. Más de 7000 litros por vaca al año. *Tierra Adentro* (19): 46-49.
34. **Köbrich, C.** 1997. The construction and use of compromise programming models to measure the impact of development policies on the sustainability of peasant farming systems in central Chile. Tesis para optar al grado de PhD. Reading, Inglaterra. The University of Reading. Faculty of Agriculture and Food. 356 p.
35. **Koenen, E.; P. Berensten; A. Groen.** 2000. Economic values of live weight and feed-intake capacity of dairy cattle under Dutch production circumstances. *Livest. Prod. Sci.* 66: 235-250.
36. **Lanuza, F.** 1985. Métodos para medir eficiencia reproductiva de un rebaño bovino lechero. *Boletín Técnico Est. Exp. Remehue.* 89: 1-22.

37. **Lerdón, F.; I. Rabanal.** 1999. Análisis económico y financiero de 29 predios campesinos lecheros del área de Paillaco. *Agro Sur* 27(2): 145-166.
38. **Lerdón, J; H. Aspe.** 2000. Análisis económico de 13 empresas lecheras de la localidad de Panguipulli. Estudio de casos. *Agro Sur* 28 (1): 1-12.
39. **Lerdón, J.; R. Rautenberg.** 2001. Estimación de eficiencia de producción y análisis económico de seis predios lecheros de la comuna de Panguipulli. Estudio de casos. *Agro Sur* 29 (2): 149-163.
40. **Lobos, G; M. Miño; E. González; A. Prizant.** 2001 a. Estimación de costos medios de producción de leche en tres predios de la Región del Maule, Chile. Estudio de casos. *Agricultura Técnica (Chile)* 61 (2): 202-214.
41. **Lobos, A; R. Soto; N. Zenteno; A. Prizant.** 2001 b. Análisis de eficiencia y rentabilidad económica en dos lecherías de la Región del Maule, Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 61 (3): 367- 378.
42. **Marín A.** 2000. Estudio y aplicación de herramientas económico-financieras para la toma de decisiones en un predio lechero de la VIII Región. Proyecto para optar al grado de Licenciado en Cs. Agronómicas y al título de Ingeniero Agrónomo. Santiago, Chile. Universidad Mayor, Facultad de Cs. Silvoagropecuarias. 133 p.
43. **Martens, J.** 1994. Evaluación de parámetros productivos, reproductivos y determinación de causales de eliminación en el rebaño lechero del fundo Punahue. Tesis para optar al grado de Licenciado en Agronomía. Valdivia, Chile. U. Austral de Chile. Facultad de Agronomía. 62 p.
44. **McGilliard, M.** 1978. Net returns from using genetically superior sires. *J. Dairy Sci.* 61: 250-254.
45. **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.
46. **McMahon R.; R. Blake; C. Shumway; M. Tomaszewski.** 1985. Selection of young and proven Holstein artificial insemination sires to maximize profits from milk. *J. Dairy Sci.* 68: 2303-2308.
47. **Melton, B.; R. Willham y E. Heady.** 1993. A note on the estimation of economic values for selection indices: a response. *Anim. Prod.* 59: 455-459.
48. **Miquel, E.** 1994. Análisis económico de diferencias reproductivas entre vacas Frisón Negro y Holstein x Frisón en la X Región, Chile. Memoria para optar al título profesional de Médico Veterinario. Santiago, Chile. U. de Chile, Facultad de Cs. Veterinarias y Pecuarias. 111 p.

49. **Navarro, H.** 1994. Producir leche en la X Región. Mejorar la rentabilidad. Tierra adentro. 12: 35-37.
50. **Norman, H; B. Cassell; R. Pearson; G Wiggans.** 1981. Relation of first lactation production and conformation to lifetime performance and profitability in Jerseys. J. Dairy Sci. 64: 104-113.
51. **ODEPA.** 2004. Industria láctea. [en línea]. <http://www.odepa.gob.cl/> [consulta: 02-03-2004].
52. **Olds, D.; T. Cooper; F. Thrift.** 1979. Effect of days open on economic aspects of current lactation. J. Dairy Sci. 62: 1168-1170.
53. **Palma, V.** 2002. Evaluación económica de una lechería intensiva en la V Región. Informe de taller de licenciatura. Valparaíso, Chile. U. Católica de Valparaíso, Facultad de Agronomía. 118 p.
54. **Pittet, J; M. Maino, S. Carvajal y V. Bahamondes.** 1997. Evaluación de innovaciones tecnológicas en sistemas de producción pecuaria: análisis de riesgo económico de una lechería, utilizando el modelo de Hertz. Avances en Ciencias Veterinarias. 12 (1): 16-24.
55. **Rautenberg, R.** 2000. Análisis técnico económico de seis predios lecheros de la comuna de Panguipulli. Estudio de casos. Tesis para optar al grado de licenciado en agronomía. Valdivia, Chile. U. Austral de Chile, Facultad de Agronomía. 82 p.
56. **Renkema, J.; J. Stelwagen.** 1979. Economic evaluation of replacement rates in dairy herds I. Reduction of replacement rates through improved health. Livest. Prod. Sci. 6: 15-27.
57. **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.
58. **Ruff, N.; W. Vinson; R. Pearson; J. White; O. Meland; D. Edlund.** 1983. Factors affecting price differences within sales of registered Holstein cattle. J. Dairy Sci. 66: 587-594.
59. **Sapag, N.; R. Sapag.** 1989. Preparación y evaluación de proyectos. Segunda Edición. McGraw-Hill. México.
60. **Servicio Nacional de Agricultura.** 2000. Costos de producción de leche. El Campesino. 31 (1): 10-12.
61. **Short, T.; R. Blake; C. Shumway; M. Tomaszewski.** 1987. Milk yield, sire selection profitability and selection error costs. J. Dairy Sci. 70: 2112-2115.

62. **Simm, G.; R. Veerkamp; P. Persaud.** 1994. The economic performance of dairy cows of different predicted genetic merit for milk solids production. *Anim. Prod.* 58: 313-320.
63. **Smith, R; V. Moreira; L. Latrille.** 2002. Caracterización de sistemas productivos lecheros en la X Región Chile mediante análisis multivariable. *Agricultura técnica (Chile)* 62 (3): 375-379.
64. **Sorensen, J; S. Ostergaard.** 2003. Economic consequences of postponed first insemination of cows in a dairy cattle herd. *Livest. Prod. Sci.* 79: 145-153.
65. **Stanton, T.; R. Blake; R. Quaas; L. Van Bleck.** 1991 a. Response to selection of United States Holstein sires in Latin America. *J. Dairy Sci.* 74: 651-664.
66. **Stanton, T.; R. Blake; R. Quaas; L. Van Vleck; M. Carabaño.** 1991 b. Genotype environment interaction for holstein milk yield in Colombia, México and Puerto Rico. *J. Dairy Sci.* 74: 1700-1714.
67. **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].
68. **Vallejos, L.** 1994. Efecto de la estación del año y edad sobre la producción de leche y el comportamiento reproductivo en vacas Holstein Friesian. Tesis para optar al título de Magíster en Producción Animal. Santiago, Chile. P. U. Católica de Chile. Facultad de Agronomía. 74 p.
69. **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.
70. **Wilcox, M.; C. Shumway; R. Blake y M. Tomaszewski.** 1984. Selection of artificial insemination sires to maximize profits. *J. Dairy Sci.* 67: 2407-2419.