

# Evaluación económica de estrategias de selección de sementales Holstein para hatos en Italia, México, Holanda y Estados Unidos utilizando simulación estocástica

## Economic evaluation of Holstein sire selection strategies for herds in Italy, Mexico, The Netherlands and the United States using stochastic simulation

Hugo H. Montaldo\*  
Jeffrey F. Keown\*\*  
L. Dale van Vleck\*\*\*  
Curtis P. van Tassell†

### Abstract

Stochastically simulated dairy herds with genetic, economic and managerial parameters for milk, fat and protein production in Italy, The Netherlands and the United States, and for milk yield in Mexico for investment horizons of 10 and 20 years were used to evaluate sire selection strategies. One to twenty progeny and pedigree-evaluated sires that were commercially available from US AI units in January of 1996, and genetic trends, were used as a basis for selection on expected profit each year. The use of 20 randomly chosen young testing sires with low semen cost was also evaluated. Average profit, lower 95% confidence limit of profit (LCL95), and utility (profit  $-0.06 \times$  variance of profit) were obtained on the basis of 1 000 replicates. Simulations using one sire per year always gave the maximum average profit. The number of sires for maximum response for LCL95 were smaller in countries with greater profits and an investment horizon of 20 years. For utility, the number of sires for maximum response tended to be 10 to 20 in most situations. Use of either selected progeny-evaluated, or young selected sires, was superior to use of randomly chosen young sires for profit, and LCL95 for profit, at year 20 in all countries and herd sizes studied, but was generally inferior for utility at year 10. The effect of herd size on optimum decisions was small, although LCL95, and, especially, utility were substantially lower for herds of less than 100 cows. A value of  $-0.06$  times the variance of profit in the calculation of utility seems unnecessarily low for restraining risk. Optimum selection of dairy sires for AI depend on economic and managerial conditions and on the degree of risk aversion, as well as the investment horizon. Hence, optimum strategies for sire selection will differ among countries and even among producers within a country.

**Key words: DAIRY CATTLE, PROFIT, SIRE SELECTION, SELECTION INDEXES, RISK ECONOMY.**

### Resumen

Se evaluaron estrategias de selección de sementales mediante simulación estocástica de hatos de bovinos productores de leche, utilizando parámetros genéticos, económicos y de manejo, para la producción de leche,

Recibido el 23 de julio de 2002 y aceptado el 31 de octubre de 2002.

\* Departamento de Genética y Bioestadística, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D. F. Correspondencia autor: hmontald@fmvz.unam.mx

\*\* Department of Animal Science, University of Nebraska, Lincoln, NE 68583, USA.

\*\*\* R. L. Hruska U.S. Meat Animal Research Center, Agricultural Research Service-USDA, Lincoln, NE 68583, USA.

† Animal Improvement Programs Laboratory and Gene Evaluation and Mapping Laboratory, Agricultural Research Service-USDA, Beltsville, MD 20705, USA.

Nota: Este trabajo es parte de la tesis de doctorado del primer autor.

grasa y proteína en Italia, Holanda y Estados Unidos, y para producción de leche en México, con periodos de inversión de diez y 20 años. Se usaron entre uno y 20 sementales evaluados por progenie y pedigrí, disponibles comercialmente de las compañías de inseminación artificial (IA) de Estados Unidos en enero de 1996 y las tendencias genéticas de la población para seleccionar toros con base en el beneficio económico esperado cada año. También se evaluó el uso de 20 sementales jóvenes para prueba de progenie, elegidos aleatoriamente, con bajo costo de semen. Se obtuvo el beneficio promedio, el límite de confianza inferior del 95% del beneficio (LIC95) y la utilidad (beneficio  $-0.06 \times$  varianza del beneficio), con base en 1000 réplicas. Las simulaciones que usaron un semental por año dieron siempre el máximo beneficio promedio. El número de sementales necesarios para obtener los máximos valores de LIC95 fue menor en países con mayores beneficios y para un horizonte de inversión de 20 años. Para utilidad, el número de sementales que dio respuestas máximas fue de diez a 20 en la mayoría de las situaciones. El uso de sementales seleccionados por progenie por pedigrí fue superior para beneficio y LIC95 al uso de sementales jóvenes escogidos al azar el año 20 en todos los países y tamaños del hato estudiados, pero fue generalmente inferior para utilidad al año diez. El efecto de tamaño del hato en la toma de decisiones óptimas fue pequeño, aunque el LIC95 y sobre todo la utilidad, disminuyeron sustancialmente en hatos de menos de 100 vacas. Un valor de  $-0.06$  multiplicado por la varianza del beneficio en el cálculo de utilidad parece innecesariamente bajo para restringir el riesgo. La selección óptima de sementales para IA en hatos lecheros depende de condiciones económicas y de manejo, además del grado de prevención del riesgo, así como el periodo de la inversión. Por tanto, las estrategias óptimas para la selección de sementales diferirán entre países, e incluso entre productores dentro de un país.

**Palabras clave: BOVINOS PRODUCTORES DE LECHE, RENTABILIDAD, SELECCIÓN DE SEMENTALES, ECONOMÍA, ÍNDICES DE SELECCIÓN, RIESGO.**

## Introduction

The main objective for genetic improvement of dairy cattle is to increase the economic efficiency of the dairy industry for each production unit or region.<sup>1-3</sup>

The results of breeding decisions involve randomness. Consideration, therefore, could be made to the risk associated with each selection strategy. Risk can be defined as a measure of the probability that the response falls below some unacceptable value.<sup>4</sup> Schneeberger *et al.*<sup>5</sup> used the standard deviation of profit to measure risk. Single measures such as utility or the lower confidence limit for profit could be used to combine the expected value and variability of genetic response, under a specified level of risk aversion.<sup>6</sup>

Some studies attempted to weigh the risk associated with the expected value of profit and to compare the best strategies for use of progeny-evaluated and young sires using deterministic methodology.<sup>5,7</sup> These studies did not include all sources of variation of risk, such as environmental components or the effect of herd size.

In the last 25 years, a substantial interchange of Holstein (Friesian) semen has taken place internationally and systems to transform predicted breeding values between countries have been developed.<sup>8</sup> Thus, a reinforced interest exists in the evaluation of the eco-

## Introducción

El principal objetivo del mejoramiento genético de los bovinos productores de leche es incrementar la eficiencia económica de la industria lechera para cada unidad de producción o región.<sup>1-3</sup>

Los resultados de las decisiones de selección involucran aleatoriedad; por consiguiente, se puede considerar el riesgo asociado con cada estrategia de selección. El riesgo puede ser definido como una medida de la probabilidad de que la respuesta sea menor a cierto valor considerado inaceptable.<sup>4</sup> Schneeberger *et al.*<sup>5</sup> usaron la desviación estándar del beneficio para medir el riesgo. Medidas simples tales como la utilidad o el límite de confianza inferior para el beneficio pueden ser usados para combinar el valor esperado y la variabilidad de la respuesta genética bajo un nivel especificado de aversión al riesgo.<sup>6</sup>

Algunos estudios han intentado medir el riesgo asociado con el valor esperado del beneficio económico y comparar las mejores estrategias para el uso de toros evaluados por progenie y jóvenes, usando metodología determinística.<sup>5,7</sup> Estos estudios no han incluido todas las fuentes de variación del riesgo, tales como el componente ambiental o el efecto del tamaño del hato.

En los últimos 25 años ha tenido lugar un importante intercambio internacional de semen Holstein (Frisón) y se han desarrollado sistemas para transformar valores genéticos predichos entre países.<sup>8</sup> Existe, por tanto, un renovado interés en la evaluación del efecto

conomic effect of this interchange of genetic material between countries.

The objective of this study was to compare several selection strategies based on the expected profit on economic response; simulated profit (benefit-cost) and risk for pedigree and progeny-evaluated US Holstein sires to be used in Italy, Mexico, The Netherlands, and US. The model involved the use of genetic, economic and managerial parameters from actual cow and sire populations.

In previous research on sire selection profitability for dairy herds, calculations were made using the deterministic and discounted flow methods, accounting only for the variation of sire breeding values.<sup>5,7,9-11</sup> This present study uses a stochastic model to simulate selection in dairy herds, and a continuous selection approach involving all sources of phenotypic variation of cows.

## Material and methods

Economic responses for production of milk, fat and protein from stochastically simulated herds in Italy, US and The Netherlands and for milk in Mexico were obtained for a number of conditions using progeny-evaluated and young, pedigree-selected sires. The mean and variance of discounted cumulative returns, discounted cumulative costs, profit and variance of profit for 10 and 20 year horizons were obtained for scenarios to represent Italy, Mexico, The Netherlands and US herds. Herd sizes were 30, 100, 200, 500 and 1000 for US; 30, 100, 200 and 500 for Mexico; and 30, 100 and 200 for Italy and The Netherlands. For each combination of time horizon, country and herd size, each year, 1, 2, 3, 5, 10 or 20, progeny-evaluated or young sires were selected, or a random sample of 20 young sires with low semen cost (US \$ 2.00) was used. The random sample of sires represents a situation where the dairy-men use semen from tested sires not selected by them, but by AI companies for progeny evaluation (testing sires). Selection was on the expected profit basis at year 10 (EP10) or the expected profit at year 20 (EP20). Evaluation of economic responses was based on average profit (risk neutral decision), lower 95% confidence limit of profit (LCL95) (risk averse) and utility (profit-0.06 variance of profit, which corresponds to high degree of risk aversion coefficient as observed in decision making by dairy managers).<sup>5,10,11</sup> All responses were evaluated at year 10 and 20 horizons based on 1,000 simulated replicates.

### Simulation model

A program in Fortran code was developed for the simulations. A base population was generated for year

económico de este intercambio de material genético entre países.

El objetivo de este estudio fue comparar varias estrategias de selección basadas en beneficio esperado, sobre la respuesta económica; beneficio simulado (ingreso-coste) y el riesgo para sementales Holstein evaluados por pedigrí y pruebas de progenie en los Estados Unidos de América, para ser usados en Italia, México, Holanda y EUA. El modelo involucró el uso de parámetros genéticos, económicos y de manejo de poblaciones reales de sementales y vacas.

En estudios previos sobre rentabilidad de la selección de sementales para la producción de leche, los cálculos se hicieron usando métodos determinísticos de flujo descontado, considerando sólo la variación de los valores genéticos del semental.<sup>5,7,9-11</sup> Este estudio usó un modelo estocástico para simular la selección en hatos lecheros con un modelo continuo que involucra todas las fuentes de variación del fenotipo de las vacas.

## Material y métodos

Se obtuvieron respuestas económicas para producción de leche, grasa y proteína a partir de hatos simulados estocásticamente en Italia, Estados Unidos y Holanda y de producción de leche para México para un número de condiciones, usando sementales evaluados por descendencia y sementales jóvenes evaluados por pedigrí. Se obtuvo la media y la varianza de los ingresos acumulados, costos acumulados descontados, el beneficio y la varianza del beneficio para horizontes de diez y 20 años para escenarios que representan hatos en Italia, México, Holanda y Estados Unidos. Los tamaños de hato para este último país fueron 30, 100, 200, 500 y 1 000; 30, 100, 200 y 500 para México; y 30, 100 y 200 para Italia y Holanda. Para cada combinación de horizonte de tiempo, país y tamaño de hato, se seleccionaron cada año 1, 2, 3, 5, 10 o 20 sementales evaluados por progenie, sementales jóvenes evaluados por pedigrí, o una muestra seleccionada al azar de 20 sementales jóvenes con semen de bajo costo (2.00 dólares). La muestra al azar de sementales representa una situación donde los ganaderos usan semen de sementales jóvenes no seleccionados por ellos, sino por las compañías de inseminación artificial (IA) para evaluarlos por progenie (sementales en prueba). La selección de los sementales se realizó en base del beneficio esperado al año diez (EP10) o el beneficio esperado al año 20 (EP20). La evaluación de las respuestas económicas se basó en el beneficio promedio (decisión neutral con respecto al riesgo), el límite de confianza inferior de 95% del beneficio (LIC95) (aversión al riesgo) y la utilidad (beneficio-0.06 varianza del beneficio) como la que corresponde al grado alto de coeficiente de aversión al riesgo, observado en decisiones tomadas por administradores de hatos lecheros.<sup>5,10,11</sup> Todas las

0 with data from years 1 to 20 considered in the analyses. Ten age classes correspond to data for cows, plus additional groups of unborn animals (age, -1), calves (age, 0) and heifers (age, 1). Probabilities of culling were calculated from ratios from contiguous age proportions of a Holstein population.<sup>12</sup>

The active reproductive population included the cows plus a number of yearling heifers equal to the number of 2-year-old cows. Within-herd selection was not done. Each year, all age class groups were randomly updated by random culling of individual cows. Number of animals to be created each year was calculated as the difference between the total number of culled animals and the expected (fixed) herd size. Additive genetic values of replacement animals reflected the genetic trend in the sire population. Equally probable use of sires with random mating was simulated for the original population for subsequent years. A Poisson distribution was used to generate the number of progeny for each sire family. Phenotypes for individual animals were simulated with a model containing additive genetic, permanent environmental and temporary environmental random effects. Vectors containing the additive genetic and permanent environmental effects of each cow were stored, and a temporary environmental deviation was added each year to simulate each lactation. The phenotypic record of a base population animal was simulated as:

$$P_{ij} = S_i + v_1 0.75^{1/2} \sigma_A + v_2 \sigma_{PE} + v_3 \sigma_{TE}, \quad [I]$$

where

$S_i$  = effect of the  $i^{\text{th}}$  sire with  $S_i = v_4 0.25^{1/2} \sigma_A$ ,  
 $v_1, \dots, v_n$  are independent standard random normal deviates,

and  $\sigma_A$ ,  $\sigma_{PE}$  and  $\sigma_{TE}$  are additive genetic, permanent environmental and temporary environmental standard deviations.

The phenotypic record of an animal born from year 1 to 20, was simulated as:

$$P_{ij} = S_i + 0.5D_i + v_5 0.5^{1/2} \sigma_A + v_6 \sigma_{PE} + v_7 \sigma_{TE},$$

where

$S_i = 0.5[(a-1) D I - I_{cow}] + 0.5(I + v_8 \sigma) + v_9 0.5[1 - (r^2 + v_{10} \sigma_{r2})]^{1/2} \sigma_A$

$a$  is the  $a^{\text{th}}$  year.

$I_{cow}$  is the average genetic value of local cows.

$D I$  is the annual genetic trend of the sire population in local economic index units.

$I$  is the average index value for the selected group of sires.

$\sigma_1$  is the standard deviation of the index for the selected group of sires.

opciones se evaluaron a horizontes de diez y 20 años en base de mil réplicas simuladas.

### Modelo de simulación

Se desarrolló un programa en código Fortran para las simulaciones. Se generó una población base para el año cero y los datos de los años 1 a 20, fueron considerados en los análisis. Se consideraron diez categorías de edad, más un grupo adicional de animales no nacidos (edad, -1), becerras (edad, 0) y vaquillas (edad, 1). Las probabilidades de desecho fueron calculadas a partir de razones entre proporciones contiguas de edad de una población Holstein.<sup>12</sup>

La población reproductiva activa incluyó a las vacas más un número de vaquillas de un año igual al número de vacas de dos años. No se realizó selección dentro de hato. Cada año todos los grupos de clase de edad fueron actualizados por desecho aleatorio de vacas individuales. El número de animales a ser creados cada año fue calculado como la diferencia entre el número total de animales desechados y el tamaño esperado (fijo) del hato. Los valores genéticos aditivos de los animales de remplazo reflejan la tendencia genética en la población de sementales. Un uso igualmente probable de sementales con apareamiento aleatorio fue simulado en la población base para los años subsecuentes. Se utilizó una distribución de Poisson para generar los números de progenie para cada familia de semental. Los fenotipos de animales individuales fueron simulados con un modelo que contiene los efectos aleatorios genético aditivo, de ambiente permanente y de ambiente temporal. Se almacenaron los vectores que contienen los efectos genéticos aditivos y de ambiente permanente de cada vaca, una desviación ambiental temporal fue añadida para simular cada lactancia. El registro fenotípico de un animal de la población base fue simulado como:

$$P_{ij} = S_i + v_1 0.75^{1/2} \sigma_A + v_2 \sigma_{PE} + v_3 \sigma_{TE}, \quad [I]$$

donde

$S_i$  = efecto del  $i^{\text{ésimo}}$  semental con  $S_i = v_4 0.25^{1/2} \sigma_A$ ,  
 $v_1, \dots, v_n$  = desviaciones normales estándar independientes aleatorias,

$\sigma_A$ ,  $\sigma_{PE}$  and  $\sigma_{TE}$  = desviaciones estándar; genética aditiva, de ambiente permanente y de ambiente temporal.

El registro fenotípico de un animal nacido del año 1 al 20 fue simulado como:

$$P_{ij} = S_i + 0.5D_i + v_5 0.5^{1/2} \sigma_A + v_6 \sigma_{PE} + v_7 \sigma_{TE}$$

donde

$S_i = 0.5[(a-1) D I - I_{cow}] + 0.5(I + v_8 \sigma) + v_9 0.5[1 - (r^2 + v_{10} \sigma_{r2})]^{1/2} \sigma_A$

$a = a^{\text{ésimo}}$  año.

$r^2$  is the average index reliability for the selected group of sires.

$\sigma_{r_2}$  is the observed standard deviation of the index reliability for the selected group of sires, and

$D_i$  is the breeding value of the dam.

Other terms are as defined in equation [I].

The approach to simulate the sire values was similar to the method used by Koopman *et al.*<sup>13</sup>. Values of the index ( $I + v_8\sigma_1$ ) and reliability ( $r^2 + v_{10}\sigma_{r_2}$ ) for each sire, contained random terms around average values to represent the individual sire variation assuming normal independent distributions for the index and the reliability, which is approximately consistent with data used in this study.

### Economic Response

Results for the economic index were expressed as net discounted economic response to the year a ( $R_a$ ), as:

$$R_a = I_a m(12/ci)net[1/(1 + d)]^a + R_{a-1}$$

where:

$I_a$  is the average index for the herd (US \$), obtained through simulation for year a,

$m$  is the weighted average of the inverses of the mature equivalent factors<sup>9</sup>

$ci$  is the calving interval in months,

$net$  is the net income over feed costs and  $d$  is fractional discount rate (Table 1).

Cumulative discounted cost of semen for year a ( $C_a$ ) was:

$$C_a = (ndo) (cos)[1/(1 + d)]^a + C_{a-1}$$

where:

$ndo$  is the number of doses required to produce a replacement cow taking into account the sex ratio, fertility and survival rate to age at replacement,

$cos$  is the cost of a dose of semen,

$d$  is the discount rate.

The values used in this study are in Table 1.

Profit to year a ( $P_a$ ) was:

$$P_a = R_a - C_a$$

### Input parameters

#### Genetic and phenotypic parameters

The phenotypic standard deviation, heritability, and repeatability for the economic composite trait (US \$), required as input parameters in the simulation model, were obtained from additive genetic (**A**), permanent environmental (**PE**) and temporary environmental (**TE**)

$I_{cow}$  = promedio del valor genético aditivo de las vacas locales.

$D I$  = progreso genético anual de la población de toros en unidades de valor económico local del índice.

$I$  = valor genético promedio del índice para el grupo seleccionado de sementales.

$\sigma_1$  = desviación estándar del índice para grupo seleccionado de sementales.

$r^2$  = promedio de la confiabilidad del índice para el grupo seleccionado de sementales.

$\sigma_{r_2}$  = desviación estándar observada de la confiabilidad del índice para el grupo seleccionado de sementales,

$D_i$  = valor genético de la madre.

Los otros términos se definen como en la ecuación [II].

El procedimiento para simular los valores de los sementales fue similar al método usado por Koopman *et al.*<sup>13</sup> Los valores del índice ( $I + v_8\sigma_1$ ) y de la confiabilidad ( $r^2 + v_{10}\sigma_{r_2}$ ) para cada semental, contienen elementos aleatorios alrededor de los valores promedio para representar la variación individual de los sementales, suponiendo distribuciones normales e independientes para el índice y la confiabilidad, ello es consistente con los datos usados en este estudio.

### Respuesta económica

Los resultados para el índice económico fueron expresados como respuesta económica descontada al año a ( $R_a$ ), como:

$$R_a = I_a m(12/ci)net[1/(1 + d)]^a + R_{a-1}$$

donde

$I_a$  = índice promedio para el hato (dólares), obtenido a través de la simulación para el año a,

$m$  = promedio ponderado de las inversas de los factores de corrección a equivalente maduro,<sup>9</sup>

$ci$  = intervalo entre partos en meses,

$net$  = ingreso neto por sobrecostos de alimentación,

$d$  = tasa de descuento expresada como fracción (Cuadro 1).

El costo acumulado descontado de semen para el año a ( $C_a$ ) fue

$$C_a = (ndo) (cos)[1/(1 + d)]^a + C_{a-1}$$

donde

$ndo$  = número de dosis requeridas para producir una vaca de remplazo considerando proporción de sexos, fertilidad y tasa de sobrevivencia a la edad de remplazo,

$cos$  = costo de una dosis de semen,

$d$  = tasa de descuento.

Los valores usados en este estudio están en el Cuadro 1 .



**Cuadro 1**

VALORES GENÉTICOS PROMEDIO DE LAS POBLACIONES DE VACAS, PESOS DE LOS ÍNDICES ECONÓMICOS, FACTORES DE CONVERSIÓN Y TENDENCIAS GENÉTICAS Y OTROS PARÁMETROS FENOTÍPICOS, GENÉTICOS, ECONÓMICOS Y DE MANEJO USADOS EN LAS SIMULACIONES.

AVERAGE BREEDING VALUE OF COW POPULATIONS, WEIGHTS FOR ECONOMIC INDEXES, CONVERSION FACTORS AND GENETIC INDEX TRENDS AND OTHER PHENOTYPIC, GENETIC, ECONOMIC AND MANAGERIAL PARAMETERS USED IN SIMULATIONS

Parameters <sup>1</sup>	Italy	Mexico	The Netherlands <sup>2</sup>	US
<b>Local base average BV cows in 1996, kg</b>				
Milk	229.80	161.60	191.20	264.50
Fat	9.60	...	4.30	7.60
Protein	9.70	...	6.50	8.20
Weights for the index, \$				
Milk	-0.06	0.27	-0.09	0.10
Fat	1.28	...	1.16	1.54
Protein	15.07	...	6.96	3.40
Local index BV cows in 1996	143.90	43.80	33.60	66.20
Conversion factors <sup>3</sup>				
Milk a	274.37	155.00	323.53	0.00
Milk b	0.66	0.65	0.70	1.00
Fat a	9.34	...	-6.34	0.00
Fat b	0.64	...	0.67	1.00
Protein a	7.61	...	0.04	0.00
Protein b	0.69	...	0.65	1.00
Correlation between US and local index	0.95	0.85	0.91	1.00
Annual genetic trend BV of index for US sires, \$	37.31	21.36	12.22	29.64
Other parameters				
Index phenotypic SD, \$	424.04	362.00	132.52	355.22
Heritability of index	0.25	0.22	0.37	0.24
Repeatability of index	0.56	0.55	0.65	0.52
Calving Interval	13.44	13.30	12.80	12.80
Doses per replacement heifer	7.00	7.00	6.50	6.50
Net income over feed costs	0.74	0.70	1.00	0.70
Discount rate	0.05	0.05	0.05	0.05

<sup>1</sup> BV = Breeding value and SD = standard deviation.

<sup>2</sup> Dutch cows include Holstein and Holstein crosses, economic values are given on net revenue basis.

<sup>3</sup> Factors a and b are values of the linear equation (y=a+bx) to transform US (x) to local (y) evaluations.

variance-covariance matrices for milk, fat, and protein, (milk only for Mexico) and the economic weights of the index for each country. Covariance matrices for the US population were obtained from Albuquerque *et al.*<sup>14</sup> Phenotypic variances and heritabilities for Italy and The Netherlands were obtained from unpublished data from MACE.\* Covariances for Italy were from Bagnato *et al.*<sup>15</sup> and unpublished data.\*\* For The Netherlands, the covariance matrices were obtained from

El beneficio al año a ( $P_a$ ) fue

$$P_a = R_a - C_a$$

### Parámetros de entrada

#### Parámetros genéticos y fenotípicos

La desviación estándar fenotípica, heredabilidad y repetibilidad para el carácter compuesto económico (dólares),



Van der Werf and de Boer<sup>16</sup> and unpublished data from the Royal Dutch Cattle Syndicate.<sup>\*\*\*</sup> Phenotypic and genetic parameters for Mexico were obtained from Stanton *et al.*<sup>17</sup> and Montaldo and Torres.<sup>18</sup>

Additive genetic, permanent environmental and phenotypic variances associated with the composite trait of interest, monetary value (US \$) for Italy, The Netherlands, US and Mexico were calculated as:

$$\mathbf{b'Mb},$$

where:

**b** is the vector in US \$ per kilogram of local economic index weights,

**M** is the additive, phenotypic covariance matrix or sum of additive and permanent environmental variance covariance matrix needed to obtain required parameters.<sup>19</sup> Resulting input parameters are in Table 1.

### *Milk, fat and protein economic indices*

Weights for the milk, fat and protein economic index for Italy were obtained from the Italian Association of Friesian Breeding\*<sup>†</sup>; the index used for US was the USDA milk-fat-protein economic index.<sup>20</sup> The index used for The Netherlands was the INET.<sup>21</sup> For Mexico, the price of milk per kilogram was used as the index weight.

### *Genetic trends and average breeding values of cow populations*

Average genetic values of cows (I<sub>cow</sub>) were obtained from the genetic trends for each population. Data were provided by the USDA for Mexico,<sup>†</sup> from the AIPL-USDA for US (AIPL-USDA web site), by the Italian Association of Friesian Breeding for Italy and by the Royal Dutch Cattle Syndicate for The Netherlands. A fixed age structure similar to those used in the simulations was applied to approximate the average breeding value of the cow population for each country.<sup>12</sup>

Genetic trends in the Holstein US sire population for the 1989-1993 period obtained from the AIPL-USDA web site (Table 2) were used to calculate genetic trend in the economic indices for each country utilizing conversion equations and index weights in Table 1.

### *Economic and managerial parameters*

Available estimates of net income over feed costs for Mexico<sup>22</sup> and US<sup>23-25</sup> were utilized. Calving interval for US was obtained from Short *et al.*<sup>26</sup> and for Mexico from Abubakar *et al.*<sup>27</sup> Data provided by the Italian Association of Friesian Breeding were used to determine these

requeridas como parámetros de entrada en el modelo de simulación fueron obtenidas de las matrices de varianzas y covarianzas genética aditiva (**A**), efecto de ambiente permanente (**PE**) y de ambiente temporal (**TE**) para producción de leche, grasa y proteína (sólo leche para México) y los pesos económicos de los índices para cada país. Las matrices de covarianza para la población de Estados Unidos de América fueron obtenidas de Albuquerque *et al.*<sup>14</sup> Las varianzas fenotípicas y heredabilidades para Italia y Holanda fueron obtenidas de datos no publicados de los *multiple trait across country evaluations (MACE)*.<sup>\*</sup> Las covarianzas para Italia se obtuvieron de Bagnato *et al.*<sup>15</sup> y datos no publicados.<sup>\*\*</sup> Para Holanda, las matrices de covarianza fueron obtenidas de Van der Werf de Boer<sup>16</sup> y datos no publicados del Royal Dutch Cattle Syndicate.<sup>\*\*\*</sup> Los parámetros fenotípicos y genéticos para México se obtuvieron de Stanton *et al.*<sup>17</sup> y Montaldo y Torres.<sup>18</sup>

Las varianzas genéticas aditivas, de ambiente permanente y fenotípicas asociadas al carácter compuesto de interés, el valor monetario (dólares) para Italia, Holanda, Estados Unidos y México fueron calculadas como

$$\mathbf{b'Mb},$$

donde

**b** = el vector de pesos económicos por kilogramo del índice local en dólares,

**M** = matrices de efectos genéticos aditivos, de ambiente permanente, de la suma de los efectos aditivos y de fenotipo requeridas para obtener los parámetros requeridos.<sup>19</sup>

Los parámetros de entrada resultantes se muestran en el Cuadro 1.

### *Índices económicos para leche, grasa y proteína*

Los pesos del índice económico para leche, grasa y proteína para Italia fueron obtenidos de la Asociación Frisona Italiana; para Estados Unidos el índice económico usado fue el leche-grasa-proteína del USDA.<sup>20</sup> El índice usado para Holanda fue el INET.<sup>21</sup> Para México, el precio de la leche por kilogramo fue usado como el peso del índice.

### *Tendencias genéticas y valores genéticos aditivos promedio de las poblaciones de vacas*

Los valores genéticos promedio de las vacas (I<sub>cow</sub>) fueron obtenidos de las tendencias genéticas para cada población.

\* P. Rozzi, comunicación personal, 1996.

\*\* P. Carnier, comunicación personal, 1996.

\*\*\* G. de Jong, comunicación personal, 1996.

parameters for Italy. Parameters for The Netherlands, were obtained from the Royal Dutch Cattle Syndicate. In The Netherlands, net profit over feed costs was 1, because the index is expressed in net profit units for the producer.<sup>21</sup> Number of doses required per cow in the herd per year were obtained from estimates made by McGilliard<sup>28</sup> and Montaldo.<sup>29</sup> Parameters used for simulation are shown in Table 1.

### *Sire selection procedure*

Average expected profit and other input parameters for the sires selected were obtained from the January 1996 USDA sire evaluation. A total of 405 progeny-evaluated sires from the eight main semen companies in US were included in the study. A total of 93 young sires with parent average indexes for milk, fat and protein and commercial semen price, from three AI companies were also included. Breeding values predicted from parental average indices of young sires for production traits have been found to be upward biased.<sup>3</sup> To reduce these possible biases, corrections were applied to the parent average indices based on results of Samuelson and Pearson<sup>30</sup> (Table 3). Average reliabilities of parent average indexes were considered to be 0.20 in US.<sup>30</sup>

The option of using 20 randomly chosen young sires at low semen cost (US \$2.00 per dose) was also evaluated. These sires represented a sample of young sires available for testing by the AI companies and are already intensively selected based upon family information.

Genetic evaluations were converted to local Italy, Mexico and The Netherlands genetic bases using linear conversion equations.<sup>27</sup> All data from sires were transformed to each local genetic base expressed as kilograms of breeding value, using the linear equation,  $y = a + bx$ , where  $y$  is the transformed evaluation, and  $x$  is the original evaluation in another country. The values  $a$  and  $b$  to transform US evaluations to Italian and Dutch genetic bases were obtained from MACE. Factors to transform US evaluations to Mexican evaluations were obtained from the USDA.<sup>31</sup> Converted US to local evaluations were used to estimate economic indices for each sire. The conversion factors and economic index weights are in Table 1.

Corrected reliability ( $r^2$ ) for the sire evaluations was obtained as:  $r^2 = r_u^2 r_g^2$ , where  $r_u^2$  is the uncorrected reliability for the US milk evaluation, and  $r_g^2$  is the estimate of approximate genetic correlation between indexes (Table 1). Values for  $r_g^2$  were obtained from MACE<sup>3</sup> for Italy and The Netherlands, and from the USDA for Mexico.

Selection criterion for sires was expected profit. Expected profit to year 10 was:  $EP_{10} = w_{I(10)}$  economic index -  $w_{S(10)}$  semen price, and expected profit to year

Los datos fueron obtenidos por el USDA para México, \* del AIPL-USDA para Estados Unidos (sitio de internet del AIPL-USDA), por la Asociación Frisona para Italia y por el Royal Dutch Cattle Syndicate for The Netherlands. Una estructura de edad fija similar a la usada en las simulaciones se aplicó para aproximar el valor genético aditivo de la población de vacas para cada país.<sup>12</sup>

Las tendencias genéticas de la población de sementales Holstein de Estados Unidos para el periodo 1989-1993, obtenidos del sitio de internet del AIPL-USDA (Cuadro 2) fueron usados para calcular la tendencia genética de los índices económicos en cada país, usando las ecuaciones de conversión y los pesos económicos de los índices del Cuadro 1.

### *Parámetros económicos y de manejo*

Se usaron estimados disponibles para la proporción del ingreso neto sobre costos de alimentación para México<sup>22</sup> y Estados Unidos.<sup>23-25</sup> El intervalo entre partos para este último país se obtuvo de Short *et al.*<sup>26</sup> y para México de Abubakar *et al.*<sup>27</sup> Datos proporcionados por la Asociación Frisona Italiana fueron usados para determinar estos parámetros para Italia. Los parámetros para Holanda fueron obtenidos del Royal Dutch Cattle Syndicate. En Holanda, la proporción del ingreso neto sobre costos de alimentación fue uno, porque el índice se expresa en unidades de beneficio neto para el productor.<sup>21</sup> Los números de dosis requeridas por vaca en el hato fueron obtenidas de estimados hechos por McGilliard<sup>28</sup> y Montaldo.<sup>29</sup> Los parámetros usados para la simulación se muestran en el Cuadro 1.

### *Procedimiento de selección de sementales*

El beneficio esperado promedio y otros parámetros de entrada para los sementales seleccionados se obtuvieron de la evaluación de sementales del USDA en enero de 1996. Un total de 405 sementales evaluados por progenie de las ocho principales compañías de semen en Estados Unidos fueron incluidos en el estudio. Un total de 93 sementales jóvenes con índices parentales promedio para leche, grasa y proteína y el precio comercial del semen comercial, de tres compañías de IA también fue incluido. Los valores de los índices parentales de sementales jóvenes para los rasgos de producción tienen sesgos hacia arriba.<sup>3</sup> Para reducir estos posibles sesgos se aplicaron correcciones al índice parental promedio en base de los resultados de Samuelson y Pearson<sup>30</sup> (Cuadro 3). Se consideró que las confiabilidades de los índices parentales promedio fueron 0.20 en Estados Unidos.<sup>30</sup>

También se evaluó la opción de usar 20 sementales jóvenes seleccionados con bajo costo de semen (dos dóla-

\* M. Cassandro, comunicación personal, 1996.



EP20= $w_{I(20)}$  economic index -  $w_{S(20)}$  semen price. The weights for the economic index ( $w_{I(\text{year})}$ ) and for semen price ( $w_{S(\text{year})}$ ) were obtained for each country from cumulative benefits and costs to year 10 or to year 20 from the same simulation model.<sup>32</sup> These weights were obtained using one sire, 200 cows and 10,000 replicates (Table 4).

## Results

Results for profit, LCL95, and utility for the herd sizes studied are shown in Figures 1 to 4 for the 10-year time horizon and in Figures 5 to 8 for the 20-year horizon. Only results for profit with the larger herd sizes are shown for each country because profits are independent of herd size. Results obtained for sires selection on EP10 and EP20 were similar. Thus, only results for EP20 are shown and discussed.

### Profit

As expected, for all countries and time horizons, profits were greater for small numbers of more intensively selected sires (Figures 1 to 8). The decreasing trends of profit, with increasing number of sires used, were generally more marked for progeny-evaluated than for young sire programs, because of the greater variability in price and predicted breeding values of proven sires.

For the 10-year planning horizon, selection of the best one or two progeny-evaluated sires was better than using selected young sires or using 20 randomly chosen young sires at low semen cost in Italy (Figure 1) and US (Figure 4), where the absolute responses were higher. The opposite was true for Mexico (Figure 2) and The Netherlands (Figure 3) with lower responses for progeny-evaluated sires. In all countries, the best use of young sires selected on EP20 from parental average indices resulted in more profit than use of randomly chosen young sires.

For the 20-year planning horizon, selecting from one to five progeny-evaluated sires had an advantage over the best young sire combination in Italy (Figure 5), US (Figure 8) and Mexico (Figure 6) but not for The Netherlands. In The Netherlands, the use of one young selected sire was the best option (Figure 7).

### Lower 95% confidence limit of profit

For the 10-year planning horizon, LCL95 was similar for best young selected or progeny-evaluated bull programs for Italy (Figure 1). In Mexico, the use of 20 randomly chosen young sires was the best option (Figure 2). For The Netherlands, the best option was young selected sires (Figure 3) and for the US the advantage was with progeny-evaluated bulls (Figure 4).

res por dosis). Estos sementales representaron una muestra de los sementales jóvenes disponibles para prueba de progeñe por parte de las compañías de IA y están intensamente seleccionados en base de información familiar.

Se convirtieron evaluaciones genéticas a la base genética local en Italia, México y Holanda usando ecuaciones de conversión lineales.<sup>27</sup> Se transformaron todos los datos de los sementales a cada base genética local expresada en kilogramos de valor genético aditivo usando la ecuación lineal  $y = a + bx$ , donde  $y$  es la evaluación transformada,  $x$  es la evaluación original en otro país. Los valores de  $a$  y  $b$  para transformar las evaluaciones de Estados Unidos a italianas y holandesas se obtuvieron del MACE. Se obtuvieron factores para transformar las evaluaciones de Estados Unidos a evaluaciones mexicanas del USDA.<sup>31</sup> Las evaluaciones de Estados Unidos convertidas a evaluaciones locales fueron utilizadas para estimar los índices económicos para cada semental. Los factores de conversión y los pesos económicos de los índices están en el Cuadro 1.

La confiabilidad corregida ( $r^2$ ) para las evaluaciones de los sementales se obtuvo como:  $r^2 = r_u^2 r_g^2$ , donde  $r_u^2$  es la confiabilidad no corregida para la evaluación de leche en Estados Unidos de América, y  $r_g^2$  es una estimación de correlación genética aproximada entre los índices (Cuadro 1). Los valores de  $r_g$  para Italia y Holanda se obtuvieron del MACE, y del USDA para México.

El criterio de la selección para los sementales fue el beneficio esperado. Al año diez fue EP10 =  $w_{I(10)}$  índice económico -  $w_{S(10)}$  precio del semen, y el beneficio esperado al año 20 fue EP20 =  $w_{I(20)}$  índice económico -  $w_{S(20)}$  precio del semen. Los pesos para el índice económico ( $w_{I(\text{año})}$ ) y para el precio del semen ( $w_{S(\text{año})}$ ) se obtuvieron para cada país a partir del beneficio acumulado y el costo acumulado al año diez o al año 20 usando el modelo de simulación.<sup>32</sup> Estos pesos se obtuvieron usando un semental, 200 vacas y diez mil réplicas (Cuadro 4).

## Resultados

Los resultados para beneficio, LIC95, y utilidad para los tamaños de hato estudiados se muestran en las Figuras 1 a 4 para el horizonte de diez años y en las Figuras 5 a 8 para el horizonte de 20 años. Sólo se muestran los resultados para beneficio con los tamaños de hato mayores porque los beneficios son independientes de los tamaños de hato. Los resultados obtenidos de la selección de sementales en base a EP10 y EP20 fueron similares; por tanto, sólo se muestran y discuten resultados para EP20.

### Beneficio

Como se espera, para todos los países y horizontes de tiempo, los beneficios fueron mayores para números pequeños de sementales más intensamente seleccio-



**Cuadro 2**  
 CAMBIOS GENÉTICOS PARA LA POBLACIÓN DE SEMENTALES HOLSTEIN EN EU (1989-1993).  
 GENETIC CHANGES FOR THE HOLSTEIN SIRE POPULATION IN US (1989-1993)

<i>Trait</i>	<i>Breeding value</i>
	(kg/yr)
Milk	122.00
Fat	2.83
Protein	3.86

**Cuadro 3**  
 CORRECCIONES PARA LOS PROMEDIOS PARENTALES DE LOS VALORES GENÉTICOS DE TOROS JÓVENES.  
 CORRECTIONS FOR PARENTAL AVERAGE BREEDING VALUES OF YOUNG SIRES

<i>Trait</i>	<i>Correction</i>
	(kg)
Milk	-63.86
Fat	-4.00
Protein	-3.18

**Cuadro 4**  
 PESOS USADOS PARA CALCULAR EL BENEFICIO ESPERADO AL AÑO 10 (EP10) Y EL BENEFICIO ESPERADO AL AÑO 20 (EP20).  
 WEIGHTS USED TO CALCULATE EXPECTED PROFIT TO YR 10 (EP10) AND EXPECTED PROFIT TO YR 20 (EP20)

	<i>Italy</i>		<i>Mexico</i>		<i>The Netherlands</i>		<i>US</i>	
	<i>P10</i>	<i>P20</i>	<i>P10</i>	<i>P20</i>	<i>P10</i>	<i>P20</i>	<i>P10</i>	<i>P20</i>
Economic index weight	1.05	2.75	1.07	2.90	1.50	4.51	1.11	3.06
Semen price weight	19.92	32.12	19.92	32.12	16.17	26.11	16.16	26.12

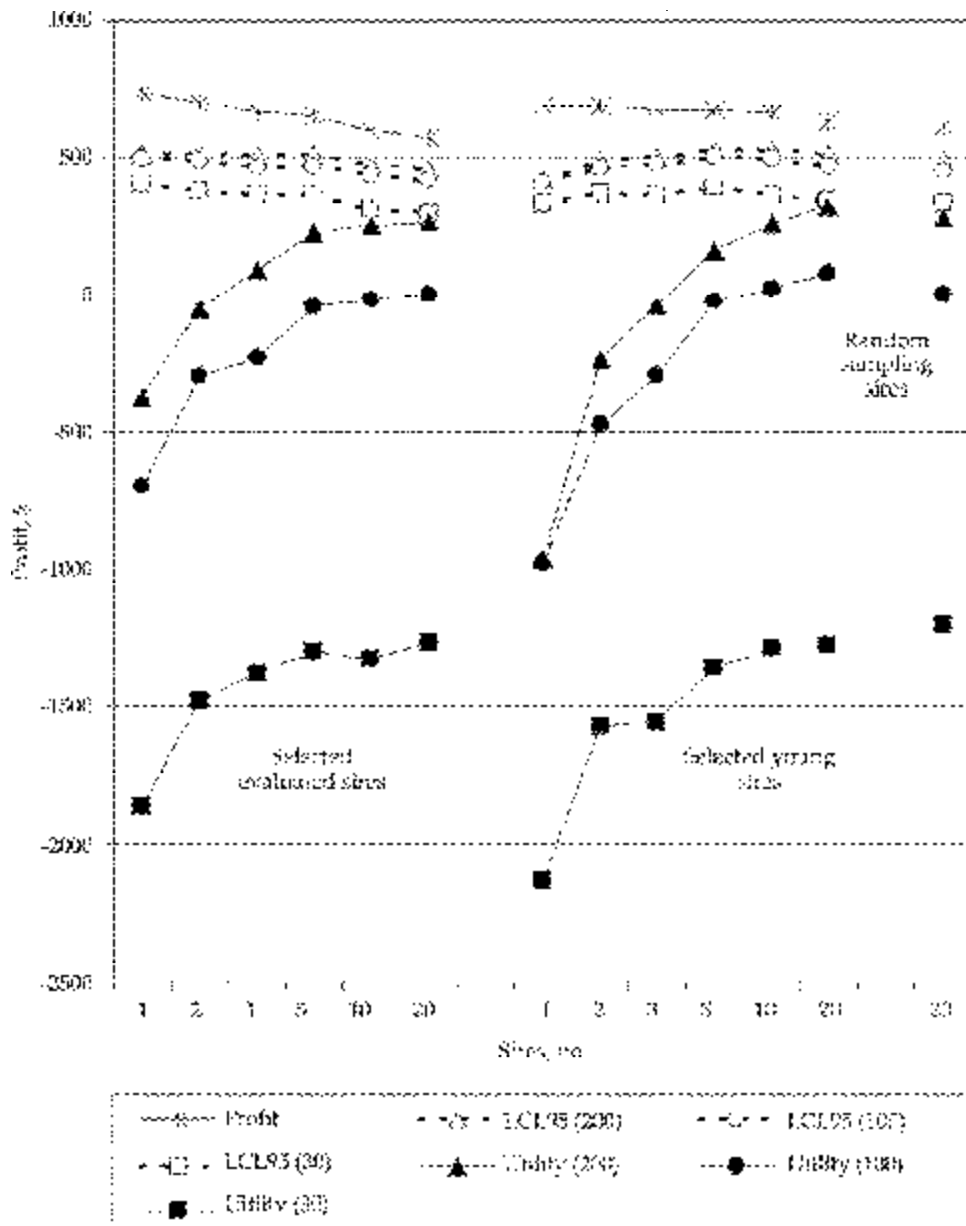
For the 20-year horizon, results indicate that maximum responses in all countries and herd sizes are obtained by using one to five progeny-evaluated sires (Figures 5 to 8).

Herd size was important in determining variability of profit associated with all options studied, although the effect of herd size on ranking of breeding strategies based on LCL95 was minor. Consideration of herd size appears to be especially important in herds of 30 cows, for which important increases in risk were observed

nados (Figuras 1 a 8). Las tendencias decrecientes de los beneficios con el incremento en el número de sementales usados, fueron generalmente más marcadas para sementales evaluados por progenie que para programas con sementales jóvenes, debido a la mayor variabilidad en precio y valores genéticos predichos de los toros probados.

Para el horizonte de planeación de diez años, la selección del mejor o dos mejores sementales evaluados por progenie fue mejor que usar sementales jóvenes seleccio-





**Figure 1.** Beneficio, limite inferior del 95% del beneficio (LCL95), y utilidad por tamaño del hato (entre paréntesis) para Italia y el horizonte de diez años. Profit, 95% lower confidence limit for profit (LCL95), and utility by herd size (in parenthesis) for Italy and the 10-yr-horizon.

because of the increased variability of response. Differences among LCL95 for herd sizes of 100 to 1000 were minor.

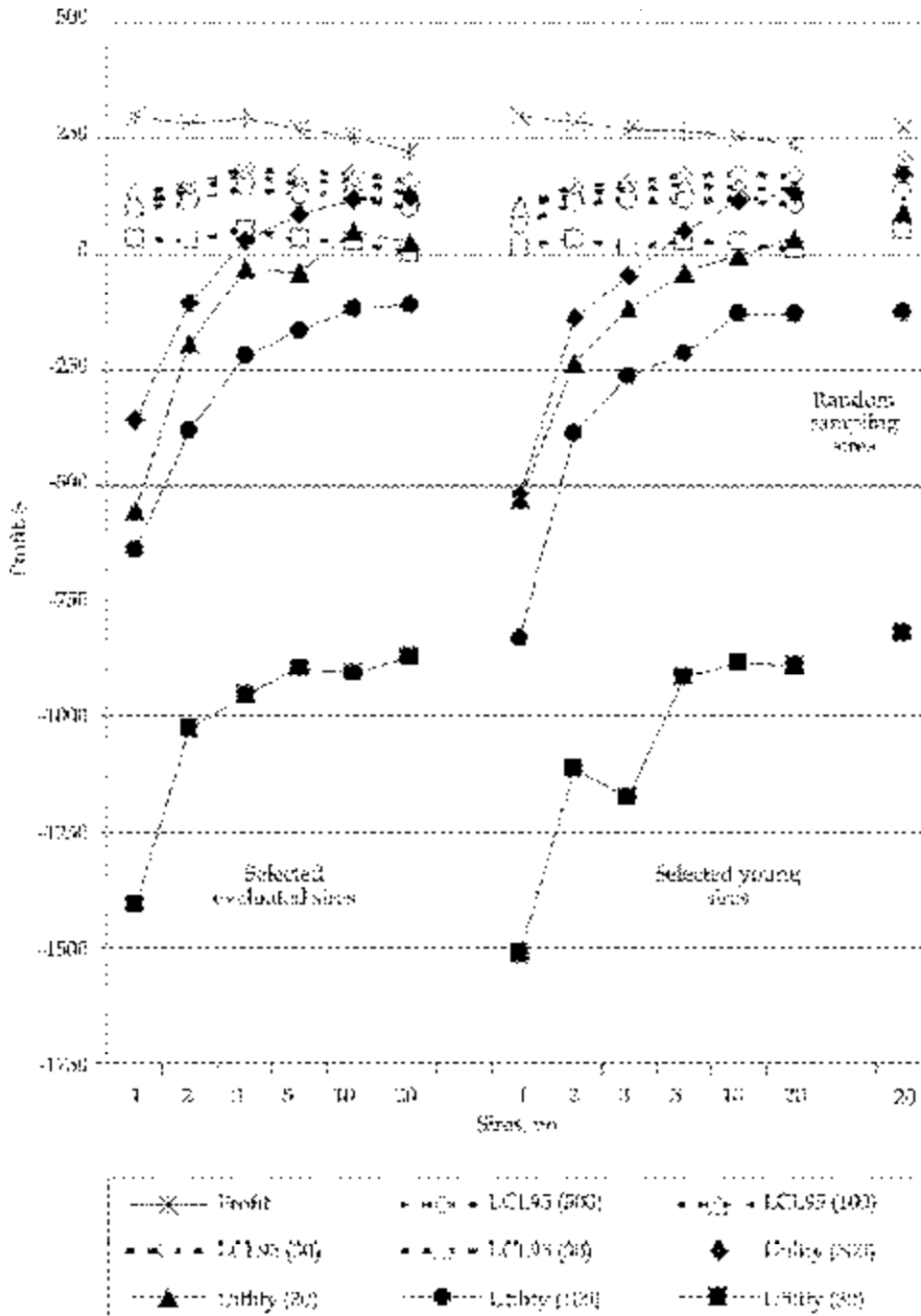
With the sole exception of The Netherlands with a 10-year horizon, for which only the LCL95 for three or more young selected or 20 randomly chosen sires were positive, for all other countries, herd sizes and time horizons, the results were positive, indicating at least 95% likelihood of profitable result.

### Utility

Utility was very sensitive to changes in variability of response. Important reductions in utility were ob-

nados o 20 sementales seleccionados aleatoriamente con un bajo costo de semen en Italia (Figura 1) y Estados Unidos (Figura 4), donde las repuestas absolutas fueron mayores. Lo opuesto ocurrió para México (Figura 2) y Holanda (Figura 3) con menores respuestas para sementales evaluados por progenie. En todos los países el uso de los mejores sementales jóvenes en base de EP20 a partir de índices parentales resultó en más beneficio que el uso de sementales jóvenes elegidos aleatoriamente.

Para el horizonte de planeación de 20 años, la selección de uno a cinco sementales evaluados por progenie tuvo una ventaja sobre la mejor combinación para toros jóvenes en Italia (Figura 5), Estados Unidos (Figura 8) y México (Figura 6), pero no para Holanda. En



**Figure 2.** Beneficio, límite inferior del 95% del beneficio (LIC95), y utilidad por tamaño del hato (entre paréntesis) para México y el horizonte de diez años. Profit, 95% lower confidence limit for profit (LCL95), and utility by herd size (in parenthesis) for Mexico and the 10-yr-horizon.

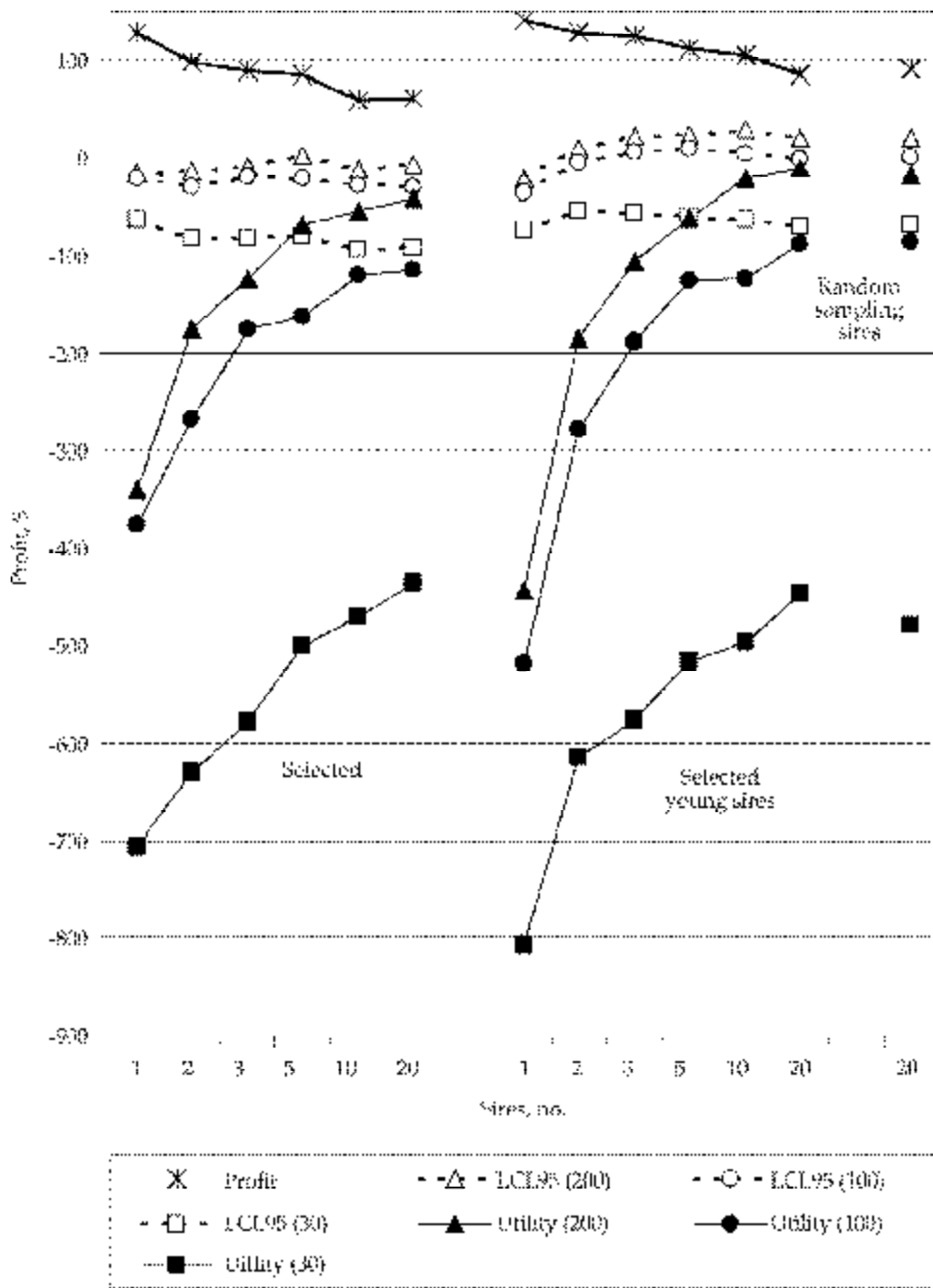
served for small herd sizes and small numbers of sires per year. The greatest reductions in utility were observed, as expected, when using only one young sire (Figures 1 to 8). Important differences for optimum number of sires selected between LCL95 and utility (Figures 1 to 8) were found.

For the 10-year planning horizon, maximum utility was found with either 20 progeny-evaluated or young selected sires, or 20 randomly chosen young sires. The differences among these options were generally minor (Figures 1 to 4).

Holanda, el uso del mejor semental joven fue la mejor opción (Figura 7).

### ***Límite de confianza inferior del 95% del beneficio***

Para el horizonte de planeación de diez años, LIC95 fue similar para la selección de los mejores toros jóvenes o evaluados por progenie para programas en Italia (Figura 1). En México, el uso de 20 sementales jóvenes selecciona-



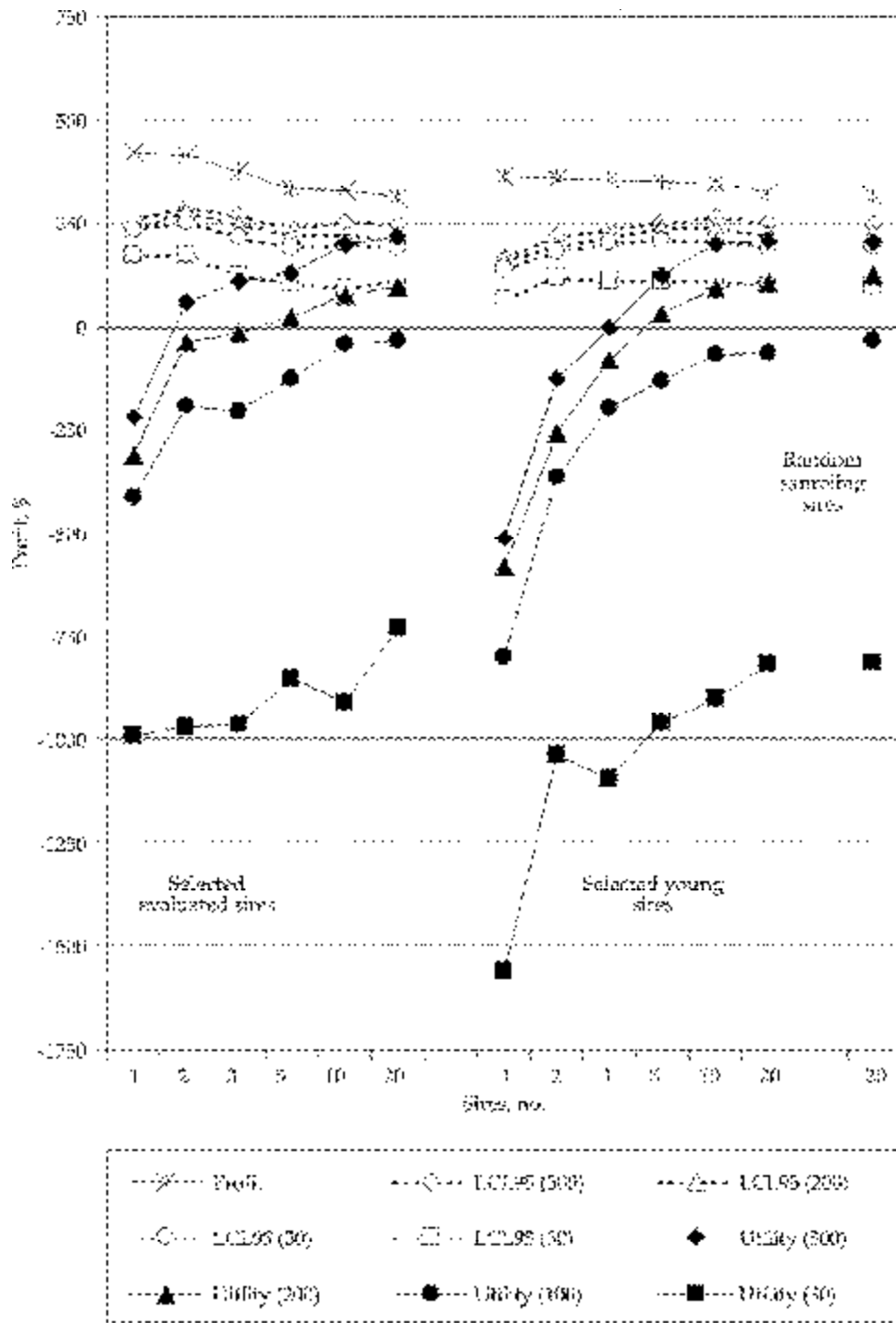
**Figure 3.** Beneficio, limite inferior del 95% del beneficio (LIC95), y utilidad por tamaño del hato (entre paréntesis) para Holanda y el horizonte de diez años. Profit, 95% lower confidence limit for profit (LCL95), and utility by herd size (in parenthesis) for The Netherlands and the 10 yr-horizon.

For the 20-year planning horizon, maximum utility in Italy was obtained with use of five to 20 progeny-evaluated sires. Small differences were observed between maximum utility for progeny-evaluated and young selected sires (Figure 5). Maximum utility were generally observed with use of three to ten progeny-evaluated sires in Mexico (Figure 6) and US (Figure 8). The results observed for the cow herds of size 30 in US, where 20, 1 and 2 sires were maximum, is attributed to random variation. In The Netherlands, maximum utility for larger herds was associ-

dos al azar fue la mejor opción (Figura 2). Para Holanda, la mejor opción fue el uso de sementales jóvenes seleccionados (Figura 3) y para Estados Unidos la mejor alternativa fue para toros evaluados por progenie (Figura 4).

Para el horizonte de 20 años, los resultados indican que las máximas respuestas en todos los países y tamaños de hato se obtienen usando uno a cinco sementales evaluados por progenie (Figuras 5 a 8).

El tamaño del hato fue importante para determinar la variabilidad del beneficio asociado a todas las opciones estudiadas; sin embargo, el efecto del tamaño

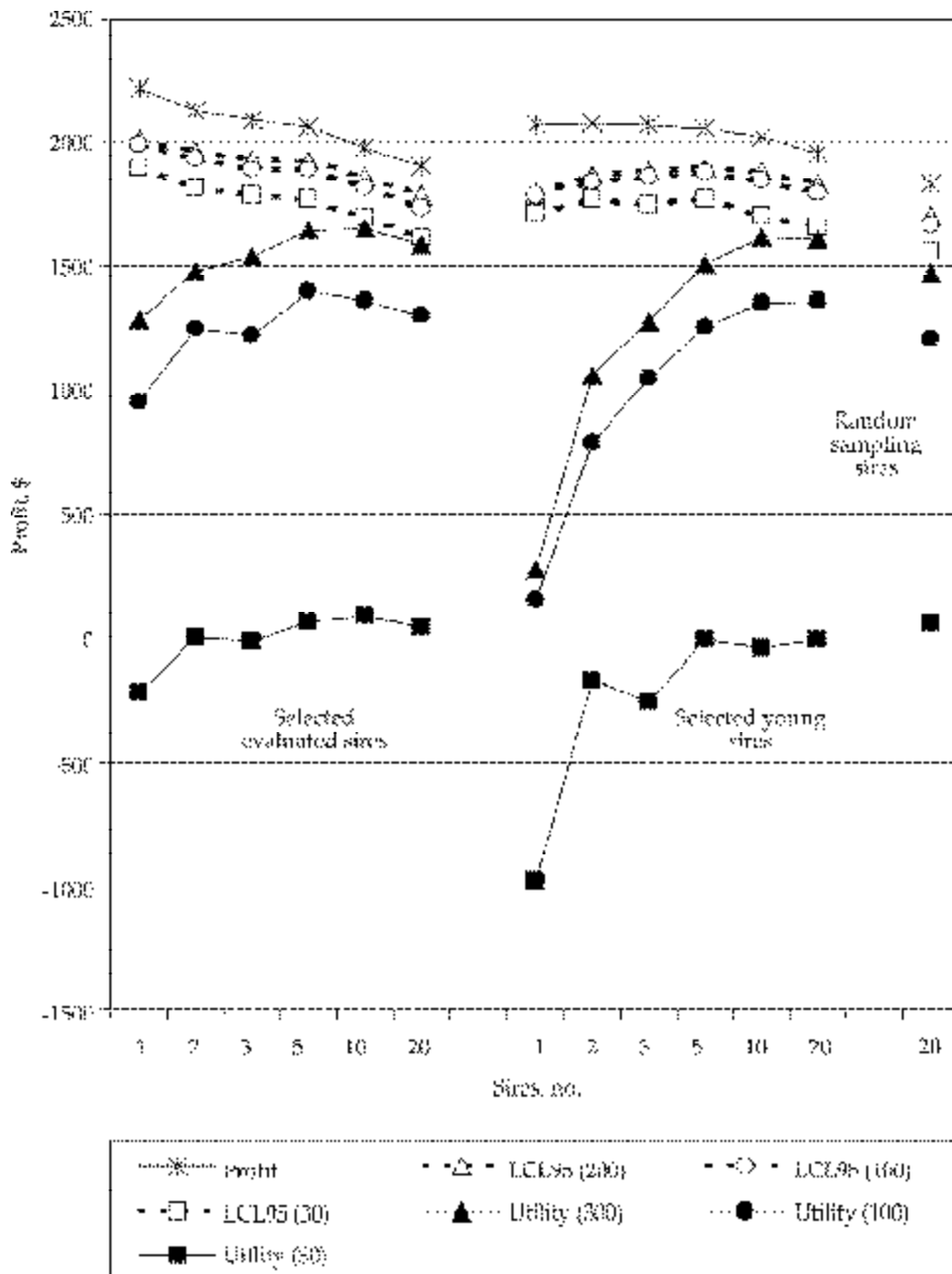


**Figure 4.** Beneficio, límite inferior del 95% del beneficio (LIC95), y utilidad por tamaño del hato (entre paréntesis) para EEUU y el horizonte de diez años. Profit, 95% lower confidence limit for profit (LCL95), and utility by herd size (in parenthesis) for US and the 10-yr-horizon.

ated with use of five to 20 young selected sires (Figure 7).

For utility, many combinations gave negative results, particularly for small herds with the 10-year horizon. Utility values were smaller with increased mean responses, as illustrated by a minimum value of -2135 for Italy with one selected young sire at the 10-year horizon in herd of 30 cows (Figure 1) and a

del hato en la jerarquización de las estrategias de mejoramiento en base de LCL95 fue menor. La consideración del tamaño del hato parece importante en hatos de 30 vacas, para los cuales se observaron importantes incrementos del riesgo a causa de la mayor variabilidad de la respuesta. Las diferencias entre LIC95 para tamaños de hatos de 100 a 1 000 fueron menores.



**Figure 5.** Beneficio, limite inferior del 95% del beneficio (LIC95), y utilidad por tamaño del hato (entre paréntesis) para Italia y el horizonte de 20 años. Profit, 95% lower confidence limit for profit (LCL95), and utility by herd size (in parenthesis) for Italy and the 20 yr-horizon.

minimum value of -800 for the same combination for The Netherlands (Figure 3).

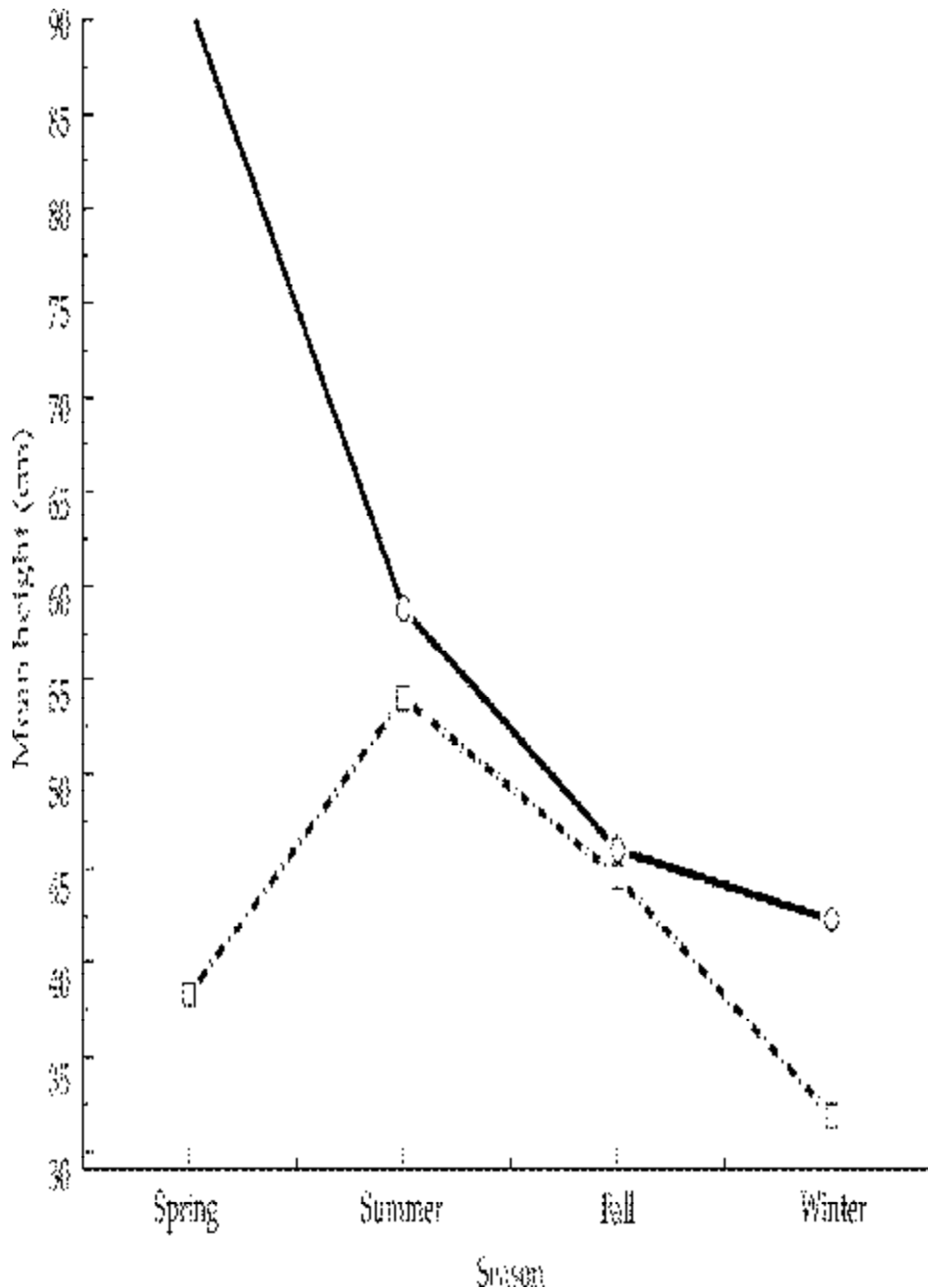
## Discussion

With lower economic response, as in Mexico and The Netherlands, options involving lower semen cost are indicated to be more efficient for maximizing profit. A similar trend was observed by Leitch *et al.*<sup>10</sup> who evaluated the effect of increasing the discount rate in the selection of sires using quadratic programming.

Con la única excepción de Holanda para un horizonte de diez años, para el cual sólo fue positivo el LIC95 para tres o más sementales jóvenes seleccionados o 20 sementales jóvenes escogidos al azar, para todos los otros países, tamaños de hato y horizontes de tiempo, los resultados fueron positivos, indicando una posibilidad de al menos 95% de un resultado redituable.

## Utilidad

La utilidad fue muy sensible a cambios en la variabilidad de la respuesta. Se observaron importantes reducciones



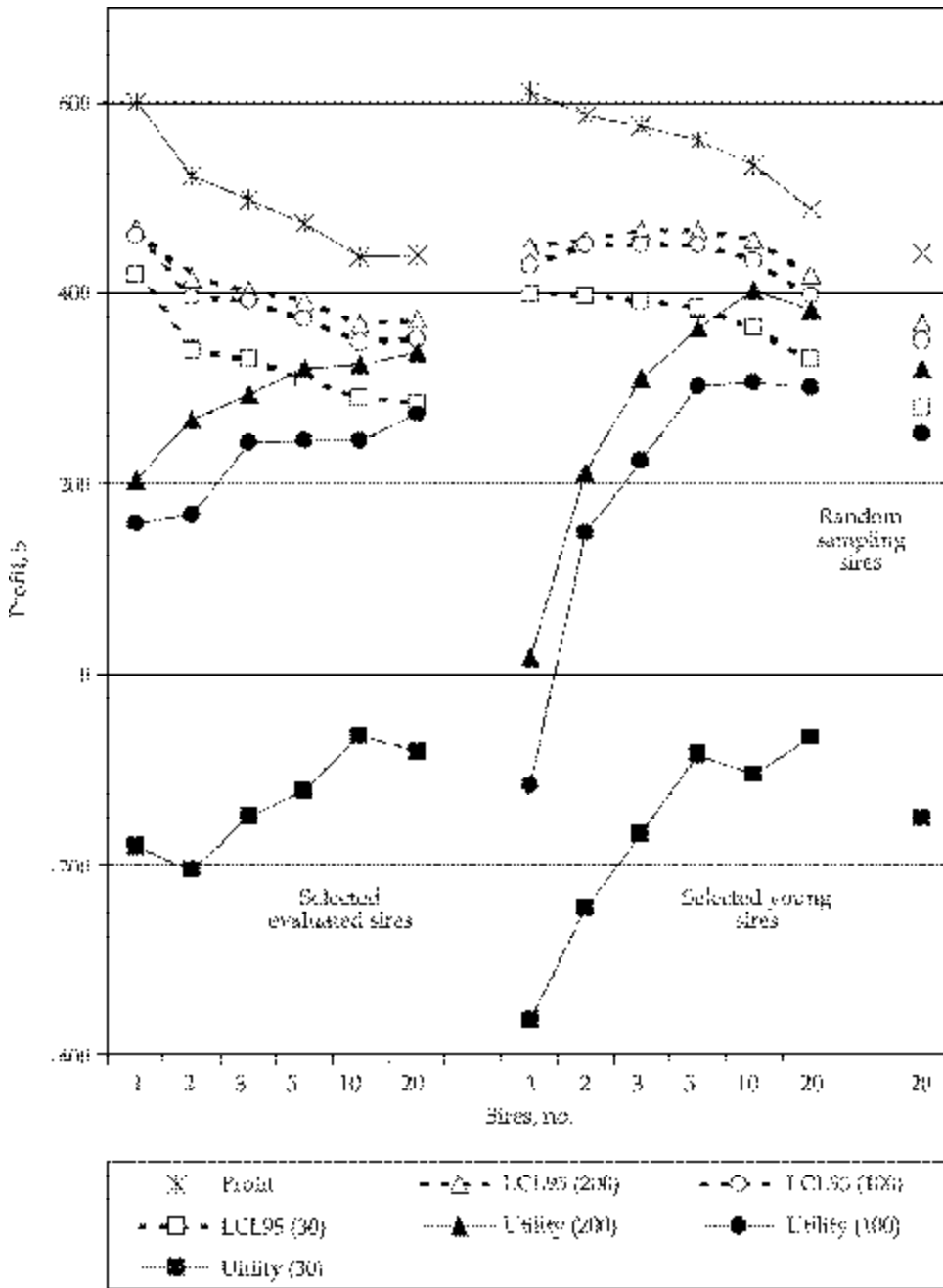
**Figure 6.** Beneficio, límite inferior del 95% del beneficio (LIC95), y utilidad por tamaño del hato (entre paréntesis) para México y el horizonte de 20 años. Profit, 95% lower confidence limit for profit (LCL95), and utility by herd size (in parenthesis) for Mexico and the 20 yr-horizon.

Consistent with the continuous selection model used,<sup>33</sup> absolute responses increased with the longer time horizon. For all combinations studied, sire selection on expected profit gave a positive result for profit for risk neutral decision-makers. Unlike deterministic prediction methodology used in previous studies on sire profit, with the exception of the study by Dekkers and Shook<sup>33</sup> oriented toward genetic firms profitability, the stochastic model used in this present study allows for estimation of both the mean and the variability of profit from genetic improvement at the herd level.

en la utilidad para hatos pequeños y bajos números de sementales usados por año. Las mayores reducciones en utilidad, como se espera, se observaron usando un solo semental joven (Figuras 1 a 8). Se encontraron importantes diferencias entre LIC95 y utilidad para el número óptimo de sementales seleccionados (Figuras 1 a 8).

Para el horizonte de planeación de diez años, la utilidad máxima se encontró con 20 sementales jóvenes seleccionados o 20 sementales jóvenes seleccionados al azar. Las diferencias para estas opciones fueron generalmente menores (Figuras 1 a 4).

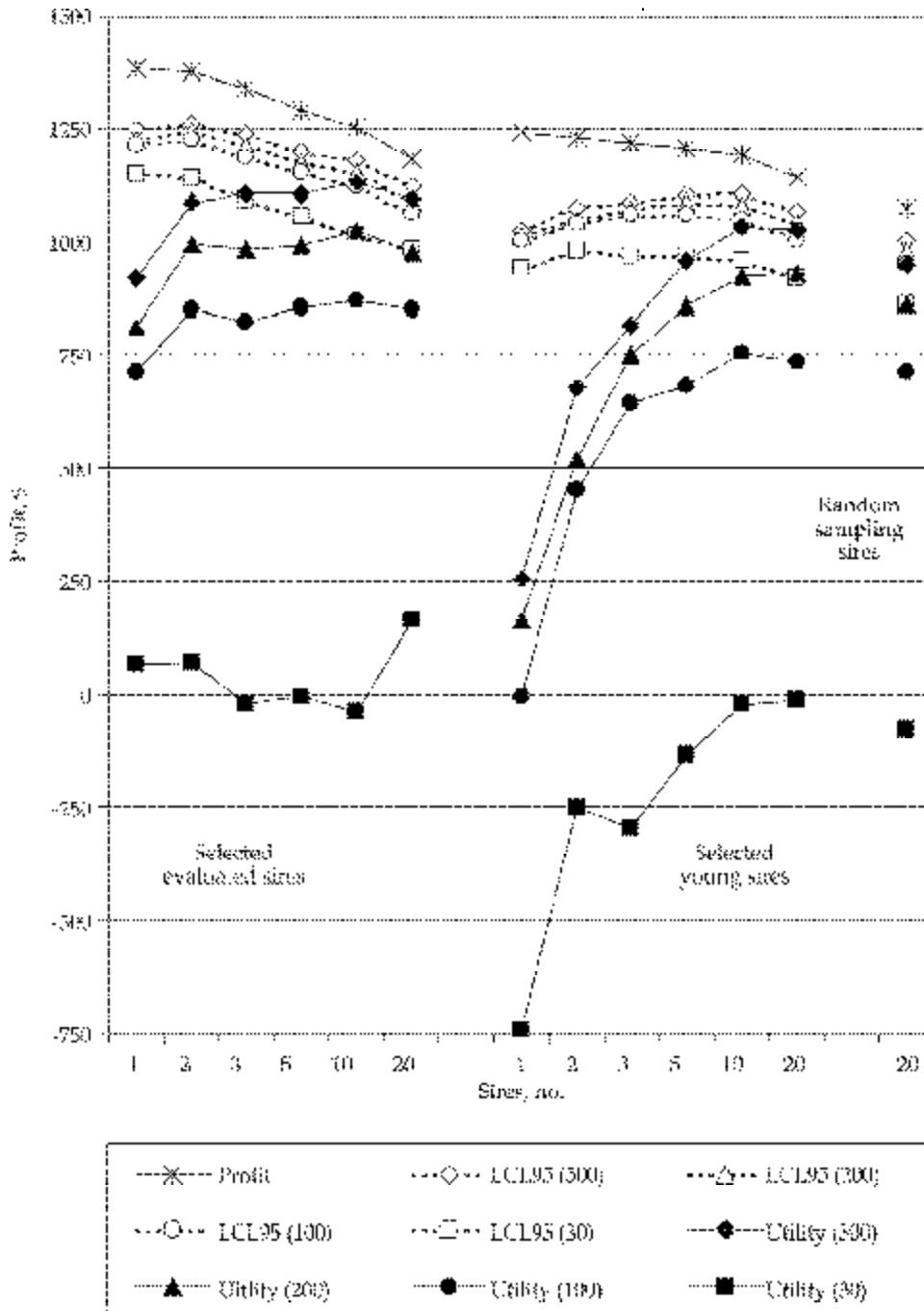




**Figure 7.** Beneficio, límite inferior del 95% del beneficio (LIC95), y utilidad por tamaño del hato (entre paréntesis) para Holanda y el horizonte de 20 años. Profit, 95% lower confidence limit for profit (LCL95), and utility by herd size (in parenthesis) for The Netherlands and the 20-yr-horizon.

Results obtained in the present study indicate opportunity to profit from efficient sire selection in all countries for neutral and moderately risk averse decision-makers and even with strong risk aversion in many cases. Observed profits with imported semen were greater than those found by Montaldo *et al.*<sup>34</sup> for Mexico, for the same planning horizon with selection of average sires for milk genetic evaluations, because in the present study sires were selected on expected profit, assuming the goal of dairy managers is to maximize economic returns.

Para el horizonte de planeación de 20 años, la utilidad máxima en Italia se obtuvo con el uso de cinco a 20 sementales evaluados por progenie. Se observaron diferencias pequeñas entre la utilidad máxima entre sementales evaluados por progenie y sementales jóvenes seleccionados (Figura 5). La utilidad máxima se observó generalmente con el uso de tres a diez sementales evaluados por progenie en México (Figura 6) y Estados Unidos (Figura 8). Los resultados observados para hatos de 30 vacas en este último país, donde 20, 1 y 2 sementales fueron máximos, se atribuyen a varia-



**Figure 8.** Beneficio, límite inferior del 95% del beneficio (LIC95), y utilidad por tamaño del hato (entre paréntesis) para EEUU y el horizonte de 20 años. Profit, 95% lower confidence limit for profit (LCL95), and utility by herd size (in parenthesis) for US and the 20-yr-horizon.

These results were obtained assuming no inbreeding depression, no relationships among sires, and constant genetic, phenotypic and economic parameters; population structure; and semen costs across years. Large changes on input parameters did not change major findings of this study, but did change absolute responses.<sup>35</sup>

The results obtained in this study are probably similar to results from selection of sires outside US originating in other countries with efficient progeny

ción aleatoria. En Holanda, la utilidad máxima para hatos de mayor tamaño estuvo asociada al uso de cinco a 20 sementales seleccionados (Figura 7).

Para utilidad, muchas combinaciones dieron valores negativos, particularmente para hatos pequeños con el horizonte de diez años. Los valores de utilidad fueron menores con incrementos en las respuestas medias, como lo ilustra el valor mínimo de -2 135 para Italia con un semental joven seleccionado y un horizonte de diez años en hatos de 30 vacas (Figura 1) y un

testing schemes, such as those listed by Interbull.<sup>8</sup> The actual results will depend on the genetic correlation between economic indices with different milk pricing systems and relative semen costs. Optimum economic results of selection of sires to be used in any country will be obtained by selecting the better sires ranked on their local expected profit, regardless of their country of origin. In practice, selection for traits to lower production costs could be an additional factor to consider. However, the economic value of traits such as survival, fertility, conformation and disease resistance are more difficult to evaluate relative to production and are likely to be different for breeders and milk producers.<sup>32</sup> Inbreeding will need to be addressed at a global scale for the Holstein population.<sup>9</sup>

Despite reduced expression for production of progeny of US sires used in Latin America, selection with economic indexes could partially compensate for the reduced economic response in agreement with results of previous studies in Colombia, Mexico, and Venezuela.<sup>17,36,37</sup>

For herds in Italy and The Netherlands, the effect of production quotas on economic returns was considered to be fully offset by rescaling.<sup>2</sup> Absolute values of economic responses, however, are not free of possible biases. Construction of profit indexes for each country is potentially based on different economic assumptions.<sup>38</sup> The assumptions of constant prices, genetic trends and sire indexes and costs may not be true. Thus, these results should be considered as approximations to the expected economic returns of genetic response to sire selection with the average parameters used.

Results, however, indicate that for a number of possible scenarios, economic responses are fairly robust against a range of relative weights for milk, fat and protein yields due to high positive genetic and environmental correlations.<sup>39-41</sup> Powell,<sup>42</sup> found high correlations among economic indexes for a group of seven countries, ranging from 0.996 to 0.761.

In this study, profit and risk were measured over a number of stochastically simulated cohorts of daughters for the planning horizon, involving all components of phenotypic variation, unlike other studies on sire profitability which used the expected gene flow from a single round of selection and included only the variation associated with the sire component of the genetic variance for calculating risk.<sup>5,7,9,11</sup> These differences make comparisons difficult between results using the two methods. The general trend of the results, however, is similar for both methods, with reduction of risk associated with use of more sires and of sires with higher reliability. Under the present

valor mínimo de -800 para la misma combinación para Holanda (Figura 3).

## Discusión

Con respuestas económicas menores, como en México y Holanda, las opciones con menores costos de semen fueron más eficientes para maximizar el beneficio. Una tendencia similar fue observada por Leitch *et al.*,<sup>10</sup> quienes evaluaron el efecto de incrementar la tasa de descuento en la selección de sementales usando programación cuadrática.

Consistente con el modelo usado con selección continua,<sup>33</sup> las respuestas absolutas se incrementaron con horizontes de tiempo mayores. Para todas las combinaciones estudiadas, la selección de sementales en base al beneficio esperado dio un resultado positivo para el beneficio para la toma de decisiones neutrales con respecto al riesgo. A diferencia de la metodología determinística utilizada en estudios previos, exceptuando al estudio de Dekkers y Shook<sup>33</sup> orientado hacia la rentabilidad de empresas genéticas, el modelo estocástico utilizado en este estudio permite estimar tanto el promedio como la variabilidad del beneficio obtenido del progreso genético a nivel del hato.

Los resultados obtenidos en este estudio indican oportunidades para obtener beneficio de una eficiente selección de sementales en todos los países para decisiones de selección neutras o con aversión moderada con respecto al riesgo e incluso con una fuerte aversión al riesgo en muchos casos. Los beneficios fueron mayores que los encontrados por Montaldo *et al.*<sup>34</sup> para México, seleccionando toros con evaluaciones promedio para la producción de leche, debido a que en el presente estudio los sementales fueron seleccionados en base al beneficio esperado, suponiendo que el objetivo de los administradores de los hatos es maximizar los retornos económicos.

Estos resultados fueron obtenidos suponiendo ausencia de depresión por consanguinidad, de relaciones entre toros y parámetros genéticos, fenotípicos y económicos, estructura de la población y costos de semen constantes a través de los años. Grandes cambios en los parámetros de entrada no cambiaron ninguno de los principales hallazgos de este estudio, pero cambiaron las respuestas absolutas.<sup>35</sup>

Los resultados obtenidos en este estudio son probablemente similares a resultados de la selección de sementales fuera de Estados Unidos, originados en otros países con programas eficientes de pruebas de progeñe, como los listados por Interbull.<sup>8</sup> Los resultados reales dependen de la correlación genética entre índices económicos con diferentes sistemas de pago de la leche y costos relativos de semen. Los resultados óptimos de la selección de sementales para ser usados en cualquier país se obtendrán del uso de los mejores

model, however, the main factors affecting risk were the number of sires and the time horizon,<sup>35</sup> with a relatively lower importance for reliability. The approach used in this present study may better reflect real cash flow from sire selection for dairymen and the associated variability for a given planning horizon than does the deterministic gene flow methodology.<sup>5</sup>

The maxima obtained in this study, unlike those calculated using quadratic programming,<sup>7</sup> are not exact solutions, because a constant number of progeny from each sire were used in the model. However, the use of a similar number of doses per bull in order to maintain risk low is a simple and practical option for dairymen. Also, to calculate quadratic programming maximums, a known function of the variance as a function of the number of sires and their reliabilities in the variance of the response is required but this function is not known for a continuous selection model. Thus, simulation should be used to obtain the responses. This model is also expected to allow some degree of generalization to help in decision making by dairy managers for selecting AI sires.

The use of utility with a high value of risk aversion (0.06) seems unlikely. In some instances, the value of the utility is as much as 12 standard deviations below the mean. Such values do not appear to be justified from normal distribution theory, which indicates that four standard deviations below the mean will have no appreciable effect on the probability of a lower value. These extreme values for risk might be caused by the subjective method of determining the weight for variance, based on surveys of breeders. Weights for the variance of profit could be chosen which are too large and which may have a negative impact on the final goal of maximizing profit with maintenance of low risk at the same time. Klieve *et al.*<sup>43</sup> showed that optimum weights for the standard deviation of profit are within the range of  $\pm 0.5$  to  $\pm 1.5$ .

In general, there is a reduced opportunity compared to progeny-evaluated sires, for young sire selection, because of its lower variability in predicted breeding values and semen prices. This fact reduced the differences in profit, LCL95 and utility among selected and randomly selected young sire programs for most studied scenarios. Results from this study show that strategies for optimum selection of dairy sires for AI depend on economic and managerial conditions and on degree of risk aversion as well as the investment horizon. Hence, optimum strategies for sire selection will differ among countries and even producers within a country.

sementales jerarquizados con base en el beneficio esperado local, independientemente de su país de origen. En la práctica, la selección de caracteres para disminuir los costos de producción puede ser un factor adicional a considerar; sin embargo, el valor económico de caracteres tales como sobrevivencia, fertilidad, conformación y resistencia a enfermedades es más difícil de evaluar en relación al de producción y son probablemente diferentes para criadores y productores de leche.<sup>32</sup> La consanguinidad requiere ser controlada para la población Holstein a escala global.<sup>9</sup>

A pesar de una expresión reducida para producción en la progenie de toros de Estados Unidos usados en América Latina, la selección con índices económicos puede compensar parcialmente estas reducciones en las respuestas económicas, de modo similar a resultados de estudios previos en Colombia, México y Venezuela.<sup>17, 36, 37</sup>

Para hatos en Italia y Holanda, se supuso que el efecto de las cuotas de producción fue completamente compensado por una disminución del tamaño del hato;<sup>2</sup> sin embargo, los valores absolutos de las respuestas económicas no están libres de posibles sesgos. El desarrollo de índices de beneficio para cada país está basado potencialmente en diferentes suposiciones económicas.<sup>38</sup> La suposición de precios, tendencias genéticas, índices de toros y costos constantes puede no ser cierta. Por tanto, estos resultados deben ser considerados como aproximaciones al valor esperado de los retornos económicos a la selección de sementales con los parámetros promedio usados.

Los resultados indican, sin embargo, que para un número de posibles escenarios, las respuestas económicas son bastante consistentes contra un rango de pesos relativos para la producción de leche, grasa y proteína, debido a elevadas correlaciones positivas tanto genéticas como ambientales.<sup>39-41</sup> Powell<sup>42</sup> encontró elevadas correlaciones entre índices económicos para un grupo de siete países, con un rango de 0.996 a 0.761.

En este estudio, el beneficio y el riesgo fueron medidos sobre un número de cohortes estocásticamente simuladas de hijas para el horizonte de planeación, involucrando todos los componentes de la variación fenotípica, a diferencia de otros estudios sobre redituabilidad de sementales, que usaron el método de flujo descontado de un solo ciclo de selección e incluyeron sólo la variación asociada al componente de semental de la varianza genética para el cálculo del riesgo.<sup>5,7,9,11</sup> Estas diferencias dificultan la comparación de los resultados usando los dos métodos. La tendencia general, sin embargo, es similar para ambos métodos, con una reducción del riesgo con el uso de más sementales y el uso de sementales con mayor confiabilidad. Empero, usando el presente modelo los principales factores que afectan el riesgo fueron el número de sementales y el horizonte de

## Conclusions

Simulations using one sire per year always gave the maximum economic response when risk was not considered. Optimum number of sires tended to be intermediate for LCL95. The number of sires for maximum response for LCL95 were smaller in countries with greater profit responses and the longer planning horizon. For utility, the number of sires for maximum response tended to be ten to 20 in most situations. Use of either selected progeny-evaluated or young selected sires was superior to use of randomly chosen young sires for profit and LCL95 at year 20 in all countries and herd sizes studied, but were generally inferior for utility at year 10. The effect of herd size on optimum decisions was small although LCL95 and, especially, utility absolute values differ substantially for herds of less than 100 cows. A weight of -0.06 for the variance of profit in the calculation of utility seems unnecessarily low to maintain risk under control.

Risk under this continuous selection model was smaller for the longer than for the shorter planning horizon. This is a key difference from results of deterministic gene flow approach and justify further examination of the properties of both methods for a better assessment of the economic value of decisions involving risk in selection programs.

## Aknowledgments

The authors thank Martino Cassandro, Bennett Cassell, Gerben de Jong, Rex Powell, Paola Rozzi, Felipe Ruiz, Mauricio Valencia and managers of US artificial insemination companies for providing information required to complete this study and CONACYT (Mexico) for financial support of the first author. Helpful comments by Merlyn Nielsen and anonymous referees are appreciated.

## Referencias

1. Goddard ME, Wiggans GR. Genetic improvement of dairy cattle. In: Fries RA., Ruvinsky A, editors. The genetics of cattle. Oxon, UK: CAB International, 1999:511-537.
2. Harris BL, Freeman AE. Economic weights for milk yield traits and herd life under various economic conditions and production quotas. *J Dairy Sci* 1993;76:868-879.
3. Van Vleck LD. Evaluation of dairy cattle breeding programs: Specialized milk production. Proceedings of the 3rd World Congress on Genetics applied to Livestock Production, 1986 July 16-22; Lincoln, Nebraska, USA: University of Nebraska, 1986; 9:141-152.
4. Weller JI. Economic aspects of animal breeding. London, UK: Chapman and Hall, 1994.

tiempo,<sup>35</sup> con una importancia relativa menor para la confiabilidad. El enfoque usado en el presente estudio pudiera reflejar mejor el flujo de efectivo derivado de la selección de sementales y su variabilidad asociada para un horizonte de planeación dado, que la metodología determinística de flujo descontado.<sup>5</sup>

Los máximos obtenidos en este estudio, a diferencia de aquellas calculadas usando programación cuadrática,<sup>7</sup> no son soluciones exactas a causa del número constante de progenie de cada semental usado en el modelo. Sin embargo, el uso de un número similar de dosis por toro con el fin de mantener el riesgo bajo es una opción simple y práctica para el ganadero. También para calcular máximos usando programación cuadrática, se requiere conocer la varianza de la respuesta como función del número de sementales y su confiabilidad, pero esta función no es conocida para el caso de un modelo de selección continua. Por consiguiente, se requiere usar simulación para obtener las respuestas. Se espera que este modelo permita cierto grado de generalización para ayudar en la toma de decisiones por administradores de hatos lecheros en la selección de sementales para IA.

El uso de la utilidad con un valor elevado de aversión al riesgo (0.06), parece poco factible. En algunos casos, el valor de la utilidad es tan bajo como 12 desviaciones estándar por abajo de la media. Estos valores no parecen estar justificados desde la teoría de la distribución normal, que indica que cuatro desviaciones estándar por abajo de la media no dejan una probabilidad apreciable de un valor menor. Estos valores extremos pudieran deberse al método subjetivo usado para determinar el peso para la varianza, basado en encuestas a los criadores. Los pesos para la varianza del beneficio usados pudiesen ser muy altos y pudieron tener un efecto negativo en el objetivo final de maximizar el beneficio y mantener bajo al mismo tiempo el riesgo. Klieve *et al.*<sup>43</sup> mostraron que los pesos óptimos para la desviación estándar del beneficio están en el rango  $\pm 0.5$  a  $\pm 1.5$ .

En general, hay menor oportunidad de selección de sementales jóvenes comparados a sementales evaluados por progenie, debido a la menor variabilidad en los valores genéticos aditivos predichos y en precio del semen en los primeros. Este hecho reduce las diferencias en beneficio, LIC95 y utilidad entre programas de sementales jóvenes seleccionados aleatoriamente y seleccionados para la mayoría de los escenarios estudiados.

Los resultados de este estudio muestran que las estrategias para la selección óptima de sementales para la producción de leche para IA dependen de condiciones económicas y de manejo y el grado de aversión al riesgo, así como el horizonte de inversión. Por tanto, las estrategias óptimas para la selección de sementales difieren entre países e incluso entre productores dentro de un país.

5. Schneeberger M, Freeman AE, Berger PJ. Income and risk for dairymen selecting sires for artificial insemination. *J Dairy Sci* 1982;65:988-994.
6. Anderson JR, Dillon JL, Hardaker TB. Agricultural decision analysis. Ames (Io):Iowa State University Press, 1977.
7. Schneeberger M, Freeman AE, Boehlje MD. Application of portfolio theory to dairy sire selection. *J Dairy Sci* 1982;65:404-409.
8. Powell RL. Interbull evaluations are here. *Holstein Wld* 1995;May:568-570.
9. Everett RW. Income over investment in semen. *J Dairy Sci* 1975;58:1717-1722.
10. Leitch HW, Gibson JPI, Dekkers CM, Burnside EB. Maximizing utility when selecting bulls globally. Proceedings of the 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production; 1994 August 7-12; Guelph, Ontario, Canada:University of Guelph, 1994;17:141-152.
11. Schneeberger M, Freeman AE, Berger PJ. Costs and risks for sire selection strategies in artificial insemination. *J Dairy Sci* 1981;64:491-496.
12. Dekkers JCM, Shook GE. A semi-stochastic model for simulation of genetic improvement by commercial artificial insemination firms in a large dairy cattle population. *J Anim Breed Genet* 1990;107:321-339.
13. Koopman JNM, Smith C, Dekkers JCM. Effect of bull sire selection strategies on competitiveness of dairy AI studs. *Livest Prod Sci* 1992;32:295-307.
14. Albuquerque LG, Keown JF, Van Vleck LD. Genetic parameters of milk, fat, and protein yields in the first three lactations, using an animal model and restricted maximum likelihood. *Braz J Genetics* 1996;19:79-86.
15. Bagnato A, Jansen G, Cerutti F, Pagnacco G. Caratteri produttivi della Frisone italiana ereditabilità e correlazioni. Memoria delle IX Congresso Nazionale Associazione Scientifica di Produzione Animale, 1991 June 3-7; Roma, Italia: Associazione Scientifica di Produzione Animale 1991:595-601.
16. Van der Werf JHJ, de Boer W. Estimation of genetic parameters in a crossbred population of Black and White dairy cattle. *J Dairy Sci* 1989;72:2615-2623.
17. Stanton TL, Blake RW, Quaas RL, Van Vleck LD. Response to selection of United States Holsteins in Latin America. *J Dairy Sci* 1991;74:651-664.
18. Montaldo HH, Torres S. Repetibilidad de la producción de leche e intervalo entre partos en una población de vacas Holstein en México. *Arch Zootec* 1993;42:361-366.
19. Van Vleck LD. Selection index and introduction to mixed model methods. Boca Raton (Fl): CRC Press, 1993.
20. Norman HD. Animal improvement laboratory USDA Newsletter. Beltsville (Md):USDA, 1995.
21. Wilmink JMB. Selection for economic milk production in The Netherlands. *Veepro Holland*; 1989; August:10-11.
22. Holmann F, Blake RW, Hahn MV, Barker R, Milligan RA, Oltenacu PA, et al. Comparative profitability of purebred and crossbred Holstein herds in Venezuela. *J Dairy Sci* 1990;73:2190-2205.
23. Dunklee JS, Freeman AE, Kelley DH. Comparison of Holsteins selected for high and average milk production. 1. Net income and production response to selection for milk. *J Dairy Sci* 1994;77:1890-1896.
24. Hansen LB, Young CW, Chester-Jones H. Net value of genetic improvement: current stocks vs. controls. Proceedings of the 4th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production; 1990 July 23-27, Edinburgh, Scotland (UK):University of Edinburgh, 1990;5:74-77.

## Conclusiones

Las simulaciones que usaron un semental por año dieron siempre el máximo beneficio promedio. El número de sementales óptimo para LIC95 fue generalmente intermedio. El número de sementales necesarios para obtener los máximos valores de LIC95 fue menor en países con mayores beneficios y para un horizonte de inversión de 20 años. Para utilidad, el número de sementales que dio respuestas máximas fue de diez a 20 en la mayoría de las situaciones. El uso de sementales seleccionados por progenie por pedigrí fue superior para beneficio y LIC95 al uso de sementales jóvenes escogidos al azar el año 20 en todos los países y tamaños del hato estudiados, pero fue generalmente inferior para utilidad al año diez. El efecto de tamaño del hato en la toma de decisiones óptimas fue pequeño, aunque el LIC95 y sobre todo la utilidad disminuyeron sustancialmente en hatos de menos de 100 vacas. Un valor de  $-0.06$  multiplicado por la varianza del beneficio en el cálculo de utilidad parece innecesariamente bajo para restringir el riesgo.

El riesgo bajo este modelo de selección continua fue menor para el horizonte de planeación mayor que para el horizonte menor. Esta es una diferencia clave con respecto al método determinístico de flujo descontado y justifica un examen ulterior de las propiedades de ambos métodos para una mejor evaluación del valor económico de decisiones que involucran riesgo en programas de selección.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a Martino Cassandro, Bennett Cassell, Gerben de Jong, Rex Powell, Paola Rozzi, Felipe Ruiz, Mauricio Valencia y gerentes de compañías estadounidenses de inseminación artificial por proveer información requerida para realizar este estudio, así como a Conacyt (México) por el apoyo económico del primer autor. Se agradecen los comentarios de Merlyn Nielsen y de los árbitros anónimos.

25. VanRaden PM, Schutz MM, Wiggans GR. Calculation of USDA-DHIA Net Merit, AIPL, ARS, USDA; Beltsville (Md):USDA, 1993.
26. Short TH, Blake RW, Quaas RL, Van Vleck LD. Heterogeneous within-herd variance. 1. Genetic parameters for first and second lactation milk yield of grade Holstein cows. *J Dairy Sci* 1990;73:3312-3320.
27. Abubakar BY, McDowell RE, Van Vleck LD. Interaction of genotype x environment for breeding efficiency and milk production of Holsteins in Mexico and Columbia. *Trop Agric (Trinidad)* 1987;64:17-22.
28. McGilliard ML. Guidelines for purchasing semen. *J Dairy Sci* 1978;61:1680-1682.
29. Montaldo HH. Comparación de alternativas de selección para el incremento del potencial productivo en la po-

- blación de vacas lecheras especializadas en México. (tesis de Maestría en Producción Animal:Genética). México (DF):México:Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM, 1989.
30. Samuelson DJ, Pearson RE. Accuracy of predicting genetic merit from pedigree information for bulls entering stud sampling programs. *J Dairy Sci* 1995;78:2057-2066.
  31. Powell RL. Calculation of Holstein conversion formulas between U.S. or Canada and Mexico. Animal Improvement Programs Laboratory, USDA. Beltsville (Md):USDA, 1995.
  32. Montaldo HH, Keown JF, Van Vleck LD, Van Tassell CP. Índices de máximo beneficio económico para la selección de sementales Holstein en México. *Vet Méx* 1999;30:130-136.
  33. Dekkers JCM, Shook GE. Economic evaluation of alternative breeding programs for commercial artificial insemination firms. *J Dairy Sci* 1990;73:1902-1919.
  34. Montaldo HH, Mendoza B, Castro H, Berruecos JM. Economic and genetic evaluation of breeding strategies for the Mexican Holstein population. Proceedings of the 5th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production; 1994 August 7-12; Guelph, Ontario, Canada:University of Guelph, 1994;17:54-56.
  35. Montaldo HH. Optimization of selection response using artificial insemination and new reproductive technologies in dairy cattle. (Ph.D. dissertation), Lincoln (Ne):University of Nebraska, 1997.
  36. Blake RW, Holmann FJ, Gutiérrez J, Cevallos GF. Comparative profitability of United States Holstein artificial insemination sires in Mexico. *J Dairy Sci* 1988;71:1378-1388.
  37. Holmann F, Blake RW, Milligan RA, Barker R, Oltencu PA, Hahn MV. Economic returns from United States artificial insemination sires in Holstein herds in Columbia, Mexico and Venezuela. *J Dairy Sci* 1990;73:2179-2189.
  38. Groen AF, Ruyter TPL. Derivation of values of milk production traits: a literature review. current stocks vs. controls. Proceedings of the 4th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production; 1990 July 23-27, Edinburgh, Scotland (UK):University of Edinburgh, 1990;14:191-194.
  39. Gibson JP. Selection on the major components of milk: alternate methods of deriving economic weights. *J Dairy Sci* 1989;72:3176-3189.
  40. Gibson JP. The effect of pricing systems, economic weights, and population parameters on economic response to selection on milk components. *J Dairy Sci* 1989b;72:3314-3326.
  41. Van Vleck LD. Breeding for increased protein content in milk. *J Dairy Sci* 1978;61:815-824.
  42. Powell RL. Effect of economic indexes on international sire selection. Proceedings of the Interbull Annual Meeting; Bulletin No 11, 1995 September 7-8; Prague, Czech Republic. Interbull, SLU, Uppsala, Sweden: Interbull, SLU, 1995:3.
  43. Klieve HM, Kinghorn BP, Barwick SA. The value of accuracy in making breeding decisions. *J Anim Breed Genet* 1993;110:1-12.