

## PROGRESO GENETICO TEORICO EN UNA POBLACION REGIONAL DE GANADO LECHERO

E. Manfredi (1)

*Recibido: 3/5/84*

*Aceptado: 6/12/84*

### RESUMEN

Se simuló el progreso genético para producción de leche que podría obtenerse en una población de ganado lechero sujeta a inseminación artificial. La población simulada constó de 100.000 vacas, con un 30 por ciento bajo control lechero, realizándose la selección de machos en 2 etapas (antecesores y prueba de progenie). La simulación se realizó de acuerdo a la teoría clásica del índice de selección e incluyó una estimación de pérdidas por consanguinidad. Las cantidades de toritos muestreados y de hijas por torito que maximizaron el progreso fueron: 43 y 90, para la población y 22 y 90 para la subpoblación controlada. Cuando se restringió la simulación asumiendo que solamente un 20 por ciento de la subpoblación era servida por toros jóvenes, que por lo menos se utilizaban 4 padres de toros y que se seleccionaban el doble de madres de toros necesarias, las cantidades de toritos y de hijas por torito que maximizan el progreso fueron 19 y 52 tanto para la población total como para la subpoblación controlada.

### THEORETICAL GENETIC PROGRESS IN A REGIONAL POPULATION OF DAIRY CATTLE

#### SUMMARY

Genetic progress for milk yield in a dairy cattle population under A.I. was simulated. The population consisted of 100.000 cows with 30 % under control.

Make selection was a two-stage selection (ancestors and progeny test). The simulation used basic selection index principles and an estimate of consanguinity depression. The number of sampled young sires and the number of daughters per young sire that maximized genetic progress were: 43 and 90, for the whole population, and 22 and 90 for the controlled subpopulation. These figures dropped to 19 and 52 for both the population and the controlled subpopulation when the following restrictions were imposed to the simulation: 1) only 20 % of the controlled subpopulation was used for sampling of young sires, 2) the number of sires of bulls was at least 4, and 3) the number of dam of bulls was two times the number of necessary dams (non production selection).

### INTRODUCCION

El progreso genético en ganado lechero puede ser predicho en forma aproximada mediante la teoría del índice de selección (Dickerson y Hazel, 1944). Debe admitirse

que los resultados teóricos no siempre se ajustan exactamente al progreso realizado en la práctica debido a causas diversas (Van Vleck, 1977)

Sin embargo, el índice de selección permite dilucidar algunos interrogantes en el diseño de planes de selección que serían resuel-

1) Cátedra de Zootecnia General, Departamento de Zootecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, (1417) Buenos Aires, Argentina.

tos por la intuición o en la arbitrariedad si se descarta la teoría.

En este trabajo se intentó maximizar el progreso genético anual en producción de leche para una población semicerrada de 100.000 vacas, con un 30 por ciento bajo control lechero. Semicerrada, significa que la población genera los reemplazos de hembras, pero algunos machos pueden provenir de otras poblaciones de nivel genético similar.

La estructura que se tomó como punto de partida asume que los machos se seleccionan en dos etapas. selección por antecesores y selección posterior por prueba de progenie, no utilizándose sistemáticamente los toritos jóvenes

en la subpoblación no controlada. Se estima además que la selección de vacas genera progreso en la subpoblación controlada pero no en el resto de la población.

En cuanto a los objetivos de selección, se supone un énfasis total sobre producción de leche aunque en algunos casos se contempló un descarte voluntario por razones ajenas a la producción.

## MATERIALES Y METODOS

El progreso genético anual para la población se calculó como:

$$Ag = \frac{AGMT + AGPT + AGPV \times Kp + AGMV \times 0,30 - Fdi}{IGMT + IGPT + IGPV \times Kp + IGTj(1 - Kp) + IGMV} \quad (I)$$

en donde:

Ag: progreso genético anual  
 AG: progreso genético generacional  
 IG: intervalo entre generaciones  
 MT: madres de toros  
 PT: padres de toros  
 PV: padres de vacas (AGPV estima la superioridad de los toros probados con respecto a los toritos selectos por sus antecesores)

Tj: toros jóvenes  
 Kp: % de vacas de la población preñadas por toros probados  
 Fdi: depresión consanguínea.

Con una fórmula equivalente se calculó el progreso genético anual para la subpoblación controlada.

$$Ag = \frac{AGMV + AGPT + AGMT + AGPV \times Kpl - Fdi}{IGMV + IGPT + IGMT + IGPV \times Kpl + IGTj(1 - Kpl)} \quad (II)$$

en donde:

Kpl: % de vacas preñadas por toros probados en la subpoblación controlada.

Todos los términos AG se calcularon como el producto de intensidad de selección (i)

por desvío genético estándar ( $\bar{G}_G$ ) por precisión de la evaluación genética ( $\bar{G}_{VI}$ ).

La depresión consanguínea Fdi se estimó con la siguiente expresión (Skjervold, 1963).

$$Fdi = \frac{1}{8} \left[ \frac{1}{4 NB} + \frac{\frac{3}{4 NPP} Kp + \frac{3}{4 NY} (1 - Kp)}{2} \right] \frac{KF \times 100 \times \bar{G}_G}{CV \times h}$$

en donde:

**NB:** número de padres de toros  
**NPP:** número de toros probados  
**NY:** número de toros jóvenes en prueba  
**KF:** constante de transformación del coeficiente de consanguinidad en depresión consanguínea  
**CV:** coeficiente de variación fenotípica  
 $\sigma^2$  G: desvío genético estándar  
**h:** raíz cuadrada de la heredabilidad

Cuando  $F_{di}$  se calculó para la subpoblación controlada,  $K_p$ , fue reemplazada por  $K_{pl}$  en la expresión precedente.

Con el objeto de estudiar numerosas alternativas, se realizó una simulación del progreso anual mediante constantes (Cuadro 1), variables independientes (Cuadro 2) y dependientes (Cuadro 3).

Algunos elementos incluidos en los Cuadros 1, 2 y 3 merecen alguna explicación. El coeficiente  $K_F$  (Cuadro 1), combinado con el coeficiente de variación  $CV$  y la variación

fenotípica, transforma coeficientes de consanguinidad en depresiones productivas. El factor de descarte por razones diferentes a producción ( $FD$  en el Cuadro 2) incluye la eliminación por tipo lechero inadecuado. Las variables  $FT_1$  y  $FT_2$  (Cuadro 2) se refieren a las prácticas habituales de elegir padres de toros entre aquellos animales probados sobre muchos hijos: la primera tanda de hijos se obtiene en la prueba de toros jóvenes; la segunda tanda se logra cuando los mejores retornan al servicio. Análogamente a veces se exige que las madres de toros tengan un cierto número mínimo de lactancias controladas (variable  $N$ , Cuadro 2). En el Cuadro 3 debe notarse que el número de toritos con prueba realizada ( $N_p$ ) indica cuantos de los animales que inician su prueba están vivos al finalizar la misma.

Otros supuestos fueron:

- a) El sistema dispone de toros ajenos a la población pero evaluados conjuntamente

**CUADRO 1: Constantes utilizadas en la simulación.**

Constante	Valor
Desvío genético estándar ( $\sigma^2$ )	400 kg
Heredabilidad ( $h^2$ )	0,20
Repetibilidad ( $r$ )	0,40
Coefficiente de variación fenotípica ( $CV$ )	25 %
Coefficiente de depresión consanguínea ( $K_F$ )	1,5
Tamaño de población	100.000 vacas
Tamaño de subpoblación controlada	30.000 vacas

**CUADRO 2: Detalle de las variables independientes incluidas en la simulación.**

Variables independientes	Símbolo
Número de toritos que inician su prueba de progenie	NY
Número de hijas por torito	P
Número de padres de toros	NB
Factor de descarte por razones diferentes a producción	FD
Número mínimo de lactancias exigidas a las madres de toros	N
Número mínimo de tandas de hijas exigidas a abuelos maternos de los toros	FT2
Número mínimo de tandas exigidas a padres de toros	FT1

CUADRO 3: Variables dependientes calculadas en este estudio.

Variable	Símbolo
% de vacas de la población preñadas por toros probados	Kp
% de vacas de la subpoblación controlada preñadas por toros probados	Kpl
Número de toros en el plantel de probados	Npp
Número de toritos con prueba realizada	Np
Número de vacas candidatas a madre de toros	VMD
Número de candidatos a padres de toros	Nppp

con los toros locales. Existen 120 toros con por lo menos 20 hijas controladas.

- b) La estructura de edad de los toros locales y ajenos asume un 71 por ciento con edades entre 6 y 8 años; 14 por ciento con 10, 12,5 por ciento con 11 y 2,5 por ciento con 12 años de edad.
- c) En los toros locales se supone una utilización pareja, o sea que todos los toros sirven a igual número de vacas. Se ignora la selección secuencial posterior a la primera prueba de progeñe.
- d) Los toros probados del plantel garantizan una producción de 10.000 dosis de semen toro/año, debiendo reponerse anualmente un 20 por ciento. Los toritos que reponen el plantel registran una supervivencia a prueba de progeñe de 75 por ciento. Para dichas pruebas se requieren 9,6 servicios por hija controlada. El intervalo entre generaciones para toros jóvenes se fijó en 2 años.
- e) La estructura de edad de las hembras de la población se asume como:

Número de lactancia	%
1	30
2	23
3	18
4	13
5	9
6	4
7	2
8	1

Todas ellas son candidatas a madres de toros siendo necesarias 4 para lograr un torito que inicia su prueba de progeñe. La simulación incluyó además un factor de descarte por razones diferentes a la producción como variable independiente (Cuadro 2).

- f) Para madres de vacas se fijó un intervalo entre generaciones de 5,79 años con una intensidad de selección de 0,109.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### 1. Progreso en la población

En el Cuadro 4 puede observarse la estructura de progreso máximo para la población, cuando las variables independientes tomaron los valores siguientes:

p: 1, 150, 1 (valor inicial, valor final e incremento)  
 NY: 1, 100, 1  
 NB: 1, 10, 1  
 FT1: 1, 4, 1  
 N: 1, 3, 1  
 FT2: 1, 4, 1

Varias ideas se desprenden del Cuadro 4:

- a) Como era de esperarse el orden decreciente de mayor progreso para las cuatro fuentes es: PT, MT, PV y MV, cuyos aportes porcentuales relativos son: 44, 30, 25 y 0,34 por ciento, respectivamente.

CUADRO 4: Estructura de progreso máximo para la población ( $p = 90$ ,  $NY = 43$ ,  $NB = FB = FT1 = FT2 = N = 1$ ).

Fuente	AG (kg)	r (%)	i ( )	IG (años)	Fdi (kg)	kp (%)	Ag (kg) Población-Subpoblación controlada	
PT	909	90,87	2,50	9,075				
MT	629	58,12	2,71	5,79				
PV	525	90,87	1,88	7,43	185	76,78	67,12	63,44
MV	7	53,38	0,11	5,79				
Total	2,070							
Total - Fdi	1,885							

te. Nótese que estos porcentajes están calculados de acuerdo a la fórmula (I) de la sección Materiales y Métodos o sea que el progreso vía PV está afectado por su utilización medida en porciento mientras que el progreso MV está restringido a la subpoblación controlada. La vía PV aparece casi tan importante como la vía MT. Esto se discute más adelante al estudiar el progreso para la subpoblación controlada.

- b) Al parecer se lograrían progresos máximos cuando prácticamente toda la subpoblación controlada ( $Kp = 76,78$  por ciento) fuera usada para probar intensamente ( $p = 90$ ) una cantidad respetable de toritos ( $NY = 43$ ). Esta gran cantidad de hijas es un resultado atípico ya que usualmente, cuando se estudia aisladamente la vía PV, se la acota para permitir mayor presión de selección en los padres de vacas. Sin embargo debe considerarse que la precisión que se obtiene mediante más hijas por torito afecta las 4 vías de progreso.

Una prueba inicial intensa garantiza el uso de toros jóvenes recién probados como padres de toros aumentando la presión de selección y evitando IG largos en la vía PT. También aumenta la precisión e las vías MV y MT por mayores precisiones en los padres de las vacas. Por último aumenta la precisión de la vía PV. Como contrapartida, afecta negativamente la intensidad de la vía PV (ya que dada una canti-

dad fija de vacas controladas, la cantidad de toritos en prueba será menor) y, en menor medida, la intensidad de la vía MT (ya que disminuye la cantidad de candidatas a madres de toros). Al parecer estos dos últimos factores son más que compensados por los beneficios de pruebas iniciales muy precisas.

Debe enfatizarse que el aumento en la precisión por mayores números de hijas en prueba de progenie no afecta los IG. Aumentos en precisión que sí afectan los IG son castigados por la simulación, lo que se describe en el párrafo siguiente.

- c) Los máximos progresos se alcanzan con intervalos entre generaciones bajos e intensidades de selección elevadas, aún a costa de menores precisiones teóricas ( $N = FT1 = FT2 = 1$ ). Los IG definidos para la población son ya los suficientemente largos como para aumentarlos buscando mayor precisión. Las intensidades de selección son elevadas merced a la utilización de un solo padres de toros ( $NB = 1$ ) en la vía PT y la selección de hembras únicamente sobre la base de su información de producción ( $FD = 1$ ).
- d) El uso de prácticamente toda la subpoblación controlada como "estación de pruebas" tiene algunos efectos como la disminución en el número de toros del plantel (12,28 toros, promedio anual) con lo cual aumenta la  $i$  de PV por menor reposición del plantel, pero disminuye le-

vemente la cantidad de candidatos a padres de toros, bajando por lo tanto la intensidad de dicha fuente de progreso.

- e) La cantidad de padres de toros fue igual a 1 en la estructura de máximo progreso. Al parecer, los aumentos en la intensidad de selección logrados al utilizar un solo padre, cuando los candidatos no son muchos, compensan con creces el aumento en la depresión consanguínea.

## 2. Progreso en la subpoblación controlada

El Cuadro 5 muestra la estructura de progreso máximo para la subpoblación controlada cuando las variables independientes tomaron valores iguales a los de la sección 1. El progreso en este caso se calculó de acuerdo a la fórmula (II) de la sección materiales y métodos, o sea que se pondera el aporte de la vía PV de acuerdo a su incidencia en la subpoblación controlada. Conclusiones que pueden extraerse del Cuadro 5 son:

- a) El progreso anual de la subpoblación controlada en el Cuadro 5 es mayor que el del Cuadro 4 (65,68 kg vs 63,44 kg) debido a un mayor progreso en la vía MT, a expensas de un menor progreso vía padres de vacas. Este hecho se debe a que la subpoblación controlada se beneficia con la selección por antecesores y solo parcialmente por las mejoras que aporta la prueba de progenie.

- b) Si bien la estructura óptima para la subpoblación controlada deprime el progreso que se obtendría a través de las pruebas de progenie, simultáneamente intenta captar parte de la superioridad extra de dichas pruebas. Esto provoca un valor de Kp de 88,12 por ciento equivalente a un 60 por ciento de hembras de la subpoblación controlada preñadas por toros probados.

- c) Es fácil notar en los cálculos, como se consigue lo expresado en los dos párrafos anteriores. El sistema capta parte de la superioridad debido a pruebas de progenie merced a un Kp mayor que en el Cuadro 4; o sea que la subpoblación controlada deja de funcionar exclusivamente como "conejito de Indias". Esto se traduce en una disminución en el número de hijas de toritos ( $90 \times 43 = 3.870$  en el Cuadro 4 vs  $90 \times 22 = 1.980$  hijas en el Cuadro 5), que provoca una notable disminución en el número de toritos probados (43 vs 22). Las consecuencias son aumentos en los progresos por antecesores (por mayor presión de selección en las madres de toros) y una caída en la vía PV (por una menor intensidad de selección).

- d) En la subpoblación controlada también se nota un progreso máximo cuando el número de padres es igual a 1 y con 22 toritos en prueba, aún a costa de una depresión consanguínea considerable (183 kg por gen). Al igual que la población total,

CUADRO 5: Estructura de progreso máximo para la subpoblación controlada ( $p = 90$ ,  $NY = 22$ ,  $NB = FD = FT1 = FT2 = N = 1$ ).

Fuente	AG (kg)	r (%)	i ( )	IG (años)	Fdi (kg)	kp (%)	Ag (kg) Población-Subpoblación controlada	
PT	909	90,87	2,50	9,075				
MT	692	58,12	2,98	5,79				
PV	327	90,87	1,49	6,27	183	60,40	65,75	65,68
MV	25	56,84	0,11	5,79				
Total	1.952							
Total - Fdi	1.769							

la subpoblación controlada registra menores progresos cuando se intenta aumentar la precisión merced a mayores intervalos entre generaciones y menores intensidades. La Figura 1 ilustra la caída del progreso cuando se esperan tandas adicionales de hijas en las pruebas de padres o abuelos maternos de toritos. En los casos de padres de toros, la caída más importante ocurre entre la primera y segunda tanda y se debe al aumento en el IG. En tandas posteriores el efecto no es tan marcado pues los aumentos en IG son más leves. En el caso de abuelos maternos, el factor que deprime el progreso cuando se requieren más tandas es la intensidad de selección ya que el número de candidatas a madres de toros desciende notoriamente cuando se exige que su padre esté probado sobre numerosas hijas. La Figura 2 describe como el descarte voluntario por razones diferentes a producción de candidatas a madres de toros afecta el progreso genético anual en la subpoblación controlada. El descarte no tiene efectos beneficiosos sobre el progreso genético en producción de leche. En cambio, disminuye el progreso a través de menores intensidades de selección en las madres de toros.

### 3. Restricciones

Probablemente, la utilización de un único padre de toros generaría temores tanto a nivel de productores como de técnicos. Es que, aunque se asuma que la depresión consanguínea esté estimada correctamente en este trabajo, no puede asegurarse que la consanguinidad no deprimirá la producción a través de otros efectos deletéreos. En un intento para evitar riesgos extremos se restringió al sistema, fijando un número mínimo de 4 padres de toros.

Por otra parte es difícil en la práctica convencer a los productores de utilizar servicios masivos de toritos jóvenes. Esta resistencia es lógica ya que se evitan riesgos, aunque el progreso pueda reducirse. Por otra parte, la precisión práctica de la selección por antecesoros ha estado por debajo de la teórica esperada, aún en países con vasta experiencia en mejoramiento lechero (Van Vleck, 1977).

En consecuencia, se restringió el uso de toritos jóvenes a un máximo de 20 por ciento de la subpoblación controlada.

Finalmente, se impuso un factor de descarte voluntario igual a 2 ( $FD = 2$ ), lo que implicaría seleccionar por computadora el doble de madres de toros necesarias, posibi-

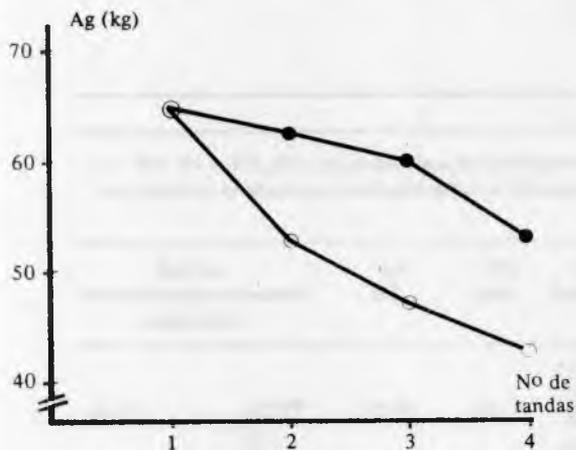


Figura 1: Efecto del número de tandas exigidas a los padres de toros (FT1, '○') y a los abuelos maternos (FT2, '●') sobre el progreso anual.

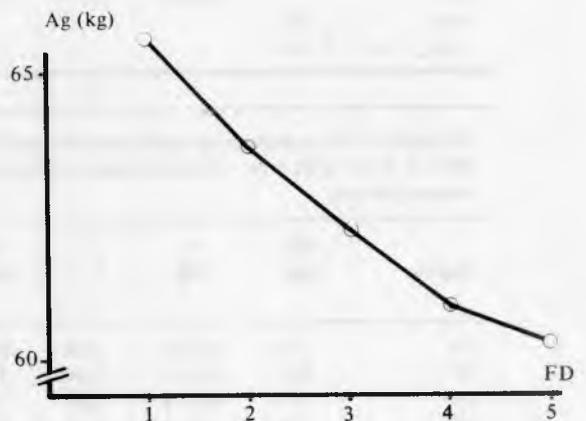


Figura 2: Efecto de los descartes voluntarios no debidos a baja producción (FD) sobre el progreso anual.

litando una posterior elección según la observación directa de las madres candidatas.

Los Cuadros 6 y 7 permiten observar las estructuras "óptimas" cuando las tres restricciones descriptas más arriba se imponen al sistema. En ambos cuadros se nota que los progresos máximos para la población y la subpoblación controlada se logran con planes de selección similares. Las restricciones impuestas perjudican al progreso teórico con disminuciones del 11,7 y 9,17 por ciento para la población íntegra y la controlada, respectivamente.

La restricción de hembras disponibles para pruebas de toritos jóvenes deprime fundamentalmente el número de hijas por torito cayendo por lo tanto las precisiones de las 4 vías de progreso (especialmente las de reproductores machos). En la subpoblación controlada se nota un aporte mayor por la vía PV cuando se preña solamente un 20 por

ciento con toritos (AG igual a 377 kg en el Cuadro 7 vs 327 kg en el Cuadro 5); sin embargo el IG de dicha vía aumenta de 6,27 años (Cuadro 5) a 7,68 años (Cuadro 7).

Cuando se seleccionan más madres que las necesarias (FD = 2), cae la intensidad de selección de la vía MT, aunque este efecto está compensado por menores cantidades de toritos en prueba en los Cuadros 6 y 7.

La utilización de 4 padres de toros baja el coeficiente de consanguinidad, así como también la depresión consanguínea a menos de un tercio de los valores de los Cuadros 4 y 5. También produce una reducción en la intensidad de los padres de toros aunque aquella se ve atenuada en los Cuadros 6 y 7 por un aumento en el plantel de toros (mayor uso de toros probados) y en el número de toros ajenos a la población cuando se exigen 52 hijas probadas a los candidatos a padres de toros.

**CUADRO 6: Estructura de progreso máximo para la población (p = 52, NY = 19, NB = 4, FD = 2, FT1 = FT2 = N = 1). Solamente un 20 por ciento de la subpoblación controlada es preñada por toritos jóvenes.**

Fuente	AG (kg)	r (%)	i ( )	IG (años)	Fdi (kg)	kp (%)	Ag (kg) Población-Subpoblación controlada	
PT	712	85,58	2,08	9,075				
MT	635	56,71	2,80	5,79				
PV	422	85,58	1,37	8,66	58	94,07	59,28	59,66
MV	7	56,02	0,11	5,79				
Total	1.796							
Total - Fdi	1.738							

**CUADRO 7: Estructura de progreso máximo para la subpoblación controlada (p = 52, NY = 19, NB = 4, FD = 2, FT1 = FT2 = N = 1). Solamente un 20 por ciento de la subpoblación controlada es preñada por toritos jóvenes.**

Fuente	AG (kg)	r (%)	i ( )	IG (años)	Fdi (kg)	kp (%)	Ag (kg) Población-Subpoblación controlada	
PT	712	85,58	2,08	9,075				
MT	635	56,71	2,80	5,79				
PV	377	85,58	1,37	7,68	58	80,24	59,28	59,66
MV	24	56,02	0,11	5,79				
Total	1.748							
Total - Fdi	1.690							

## CONCLUSIONES

La metodología aquí utilizada no es probablemente la más acabada. Otros autores (Hill, 1974; Hinks, 1972) aplicaron técnicas que estiman el progreso más afinadamente. Sin embargo, esta metodología sencilla permitió vincular numerosos aspectos ligados al progreso y la integración casi total de las 4 fuentes que lo componen.

Lamentablemente ha debido recurrirse a ciertos supuestos arbitrarios como ser la estructura de edades de un plantel de toros que, usualmente, no está regida por aspectos biológicos. Esto invalida la generalización de los resultados puntuales pero no el estudio de tendencias, que puede resumirse como sigue:

- a) El esquema de progreso que más rápido mejora una población controlada no necesariamente es óptimo al considerar la población total de servicios. Existe una competencia entre las fracciones que componen la población por aprovechar la superioridad extra de los toros probados. En este trabajo, alrededor de la mitad de la población controlada debería ser servida por toros probados para maximizar su progreso anual.
- b) En situaciones de altos intervalos entre generaciones y bajo número de candidatos para la selección debe evitarse la búsqueda exagerada de precisión que alarga los IG y deprime la presión de selección. Al parecer, los aumentos de precisión podrían lograrse a través de pruebas de toros jóvenes intensas.
- c) Los planteles de machos deberían ser reducidos aún a costa de perder candidatos a padres de toros. Pocos padres de toros

elevarían la presión de selección de la fuente de progreso más importante aunque aumentarían la depresión consanguínea. En este aspecto, el trabajo es demasiado superficial como para extraer conclusiones decisivas ya que no se considera el perjuicio indirecto que puede causar el aumento de la consanguinidad sobre la producción.

- d) Los descartes voluntarios por razones diferentes a la producción afectan sensiblemente al progreso, a través de pérdidas en la presión de selección de las madres de toros.

Por último, debe destacarse que en este trabajo no se incluyó el aporte genético que podrían realizar poblaciones de nivel genético superior. Esto sería beneficioso si los objetivos y las condiciones en que se realiza la selección son similares a los de la población bajo estudio.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) Dickerson, G. E. and L. N. Hazel, 1944. Effectiveness of selection on progeny performance as a supplement to earlier culling in livestock. *J. Agric. Res.*, 49: 459-476.
- 2) Hill, W. G., 1974. Prediction and evaluation of response to selection with overlapping generations. *Anim. Prod.* 18: 117-139.
- 3) Hinks, C. J., 1972. The effects of continuous sire selection on the structure and age composition of dairy cattle populations. *Anim. Prod.* 15: 103.
- 4) Skjervold, H., 1963. The optimum size of progeny groups and optimum use of young bulls in A. I breeding. *Acta Agr. Scand.* XIII, 131.
- 5) Van Vleck, L. D., 1977. Theoretical and actual genetic progress in dairy cattle. *Proc. of the International Conference on Quantitative Genetics*. IOWA State Press, Ames, IOWA, 543-567.