

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA
SUBDIRECCION GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA
PROGRAMA DE POSGRADO

INDICES DE SELECCION Y EVALUACION DE SU EFECTIVIDAD PARA
CARACTERISTICAS RELACIONADAS CON LA PRODUCCION DE LECHE EN
EL TROPICO

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico
Académico del Programa de Posgrado en Ciencias Agrícolas y
de los Recursos Naturales del Centro Agronómico Tropical de
Investigación y Enseñanza, para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

Por

DENIS JOSE SALGADO FONSECA

Turrialba, Costa Rica

1988

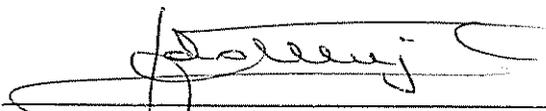
Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del CATIE, y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE

COMITE ASESOR:



Assefaw Tewelde Medhin, Ph. D.
Profesor Consejero



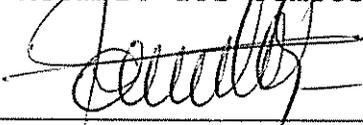
Fernando Mujica Castillo, Ph. D.
Miembro del Comité



Pedro Ferreira Rossi, Ph. D.
Miembro del Comité



Francisco Romero Royo, Ph. D.
Miembro del Comité



Ramón Lastra Rodríguez, Ph. D.
Coordinador, Programa de Estudios de Posgrado



Dr. José Luis Parisí Varas
Subdirector General Adjunto de Enseñanza



Denis José Salgado Fonseca
Candidato

DEDICATORIA

Con el más profundo respeto, cariño y admiración dedico este trabajo a mis hermanos Nicaragüenses. Jóvenes heroicos que hoy ofrendan su vida en la defensa de los más sagrados principios de la Patria:
LIBERTAD, SOBERANIA E INDEPENDENCIA.

"SI LA PATRIA ES PEQUEÑA,
UNO GRANDE LA SUENA"

Rubén Darío

RECONOCIMIENTO

Mi sincera gratitud:

Al Dr. Assefaw Tewolde, Consejero Principal, por sus excelentes consejos en la realización del presente trabajo, así como por su inigualable enseñanza e incomparable amistad. MUCHAS GRACIAS Dr. TEWOLDE.

A los miembros del Comité Asesor, Dr. Fernando Mujica, Dr. Pedro Ferreira y Dr. Francisco Romero por sus importantes sugerencias para mejorar el trabajo.

A los compañeros estudiantes del CATIE, particularmente al grupo de Genética Animal, por su colaboración y amistad brindada.

A Yadira Meza, mi esposa, por su incalculable ayuda en la preparación de este escrito y sobre todo, por su cariño, paciencia y apoyo incondicional en los momentos más críticos de mis estudios de posgrado.

Al Gobierno de Holanda, al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza y al Pueblo de Nicaragua por la oportunidad que me brindaron.

Al personal de la finca experimental de Ganadería Tropical del CATIE por su ayuda en la codificación de la información.

A las Secretarías del Área de Ganadería Tropical, especialmente a Mirna, Lorena y Marlene.

Al personal del Centro de Cómputo, particularmente a la Srta. Alba Buitrago por su apoyo en la codificación de la información.

A todas aquellas personas que de una u otra manera me brindaron su amistad y apoyo.

BIOGRAFIA

El autor nació el 1 de septiembre de 1960 en Chontales, Nicaragua. Realizó sus estudios primarios en la Escuela Pública de Villa Sandino y de bachillerato en los Institutos Nacionales de Juigalpa, Villa Sandino y Santo Tomás, todos en el Departamento de Chontales.

En 1979, inició sus estudios en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. En 1983 continúa sus estudios en la Universidad Autónoma Chapingo, México, obteniendo en 1984 el Título de Ingeniero Agrónomo Zootecnista.

De 1980 a 1983, trabajó como ayudante de Cátedra en la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCCA) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.

De 1985 a 1986, se desempeña como Docente en el Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias (antigua FCCA).

En septiembre de 1986, ingresó a la Escuela de Producción Animal del Programa de Posgrado del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, graduándose de Magister Scientiae, en octubre de 1988.

CONTENIDO

RESUMEN.....	ix
SUMMARY.....	xi
LISTA DE CUADROS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	4
2.1 Variabilidad genética para producción de leche y sus constituyentes.....	6
2.2 Índices de selección incluyendo información de pa- rientes de la vaca.....	9
2.3 Correlaciones genéticas entre la producción de leche y sus constituyentes.....	13
2.4 Índice de selección para producción de leche y sus constituyentes.....	19
3. MATERIALES Y METODOS.....	27
3.1 Localización y descripción del lugar de trabajo.....	27
3.2 Origen del hato Criollo del CATIE.....	27
3.3 Desarrollo del Hato.....	29
3.4 Manejo y alimentación de los animales.....	31
3.5 Descripción de los datos.....	34
3.6 Análisis estadístico.....	36
3.6.1 Análisis para realizar ajustes para efectos no genéticos.....	38
3.6.2 Análisis genético para PL/PM, PL305, PLLCG PG305, PP305, RG305 y RP305.....	40
3.6.2.1 Estimación del índice de constancia para PL/PM, PL305, PLLCG, PG305, PP305, RG305 y RP305.....	40
3.6.2.2 Estimación del índice de herencia pa- ra PL/PM, PL305, PLLCG, PG305, PP305 RG305 y RP305.....	42
3.6.2.3 Estimación de correlaciones genéticas entre las características en estudio..	45
3.6.2.4 Índice de selección.....	46
3.6.2.4.1 Índice de selección para mejorar una característi- ca.....	47
3.6.2.4.2 Índice de selección para me- jorar dos o mas característi- cas	49

4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	51
4.1 Índice de constancia o repetibilidad.....	51
4.2 Índice de herencia o heredabilidad.....	55
4.3 Correlaciones genéticas y fenotípicas.....	59
4.4 Índice de selección.....	65
4.4.1 Selección individual.....	65
4.4.2 Selección usando información del individuo y sus parientes para mejorar solo una caracte- rística.....	71
4.4.3 Selección considerando un índice con distin- tas características en el individuo	87
5. CONCLUSIONES.....	94
6. LITERATURA REVISADA.....	96
APENDICE.....	103

SALGADO F., D. J. 1988. Indices de selección y evaluación de su efectividad para características relacionadas con la producción de leche en el trópico. Tesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 124 p.

Palabras claves: Leche, grasa, proteína, Criollos, Jersey, trópico, parámetros genéticos, índices de selección.

INDICES DE SELECCION Y EVALUACION DE SU EFECTIVIDAD PARA CARACTERISTICAS RELACIONADAS CON LA PRODUCCION DE LECHE EN EL TROPICO

RESUMEN

Se analizaron 4.018 registros de vacas Criollas, Jersey y cruces colectados en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) durante más de 35 años (1950-1987) con el objetivo de estimar parámetros genéticos (heredabilidad (h^2), repetibilidad (r) y correlaciones genéticas) y estudiar la eficiencia de algunos índices de selección bajo las condiciones de trópico húmedo, como el de Turrialba. El manejo de estos animales es básicamente a base de pastoreo y ordeño dos veces por día. Las características estudiadas en el presente trabajo fueron producción de leche por lactancia (PL305), producción de leche por kg de peso metabólico al parto (PL/PM), producción de leche corregida por grasa (PLLCG), producción de grasa (RG305), producción de proteína (RP305), % de grasa (PG305) y % de proteína (PP305). Todos los análisis fueron realizados empleando los procedimientos de mínimos cuadrados propuestos por Harvey (1960). Los parámetros genéticos para las distintas características fueron estimados a partir de un modelo que incluyó los efectos de grupo racial, época de parto, manejo, padre dentro de grupo racial y vaca anidada en padre y grupo racial. También se hizo un análisis de regresión madre-hija con

el fin básicamente de obtener estimadores de h^2 y r_g . Las r obtenidas en este estudio fueron $0,50 \pm 0,02$, $0,48 \pm 0,02$, $0,48 \pm 0,02$, $0,47 \pm 0,02$, $0,57 \pm 0,03$, $0,43 \pm 0,02$ y $0,21 \pm 0,03$ para PL305, PLLCG, PL/PM, RG305, RP305, PG305 y PP305, respectivamente, mientras que los respectivos estimadores de h^2 obtenidos fueron $0,27 \pm 0,09$, $0,18 \pm 0,09$, $0,29 \pm 0,10$, $0,12 \pm 0,08$, $0,29 \pm 0,10$, $0,33 \pm 0,08$ y $0,14 \pm 0,08$. Las correlaciones fenotípicas y genéticas entre las características de producción (PL305, PLLCG, PL/PM, RG305 y RP305) fueron positivas, variando respectivamente de 0,82 a 0,99 y de 0,42 a 1,05. Las correlaciones fenotípicas entre las características de producción y las expresadas en porcentaje (PG305 y PP305) fueron cercanas a cero, excepto entre PG305 y RG305, PG305 y PP305 y entre PP305 y RP305, las cuales variaron entre 0,22 y 0,29. En tanto que las correlaciones genéticas entre características de producción y % fueron de 0,08 a -0,79. Los valores antes señalados sugieren que es posible dirigir la selección para cualquiera de las características de producción con esperanza de obtener cambios genéticos positivos en otras, no así en PG305 y PP305. En particular, es importante señalar que la r_g entre PL/PM de la vaca y las demás características de producción es positiva, haciendo probablemente posible el manejo genético que se le pueda dar a la producción de leche por ha a la luz de su importancia en el trópico. De los índices de selección evaluados en el presente trabajo, aquel que consideró PL/PM de la vaca, PL/PM de sus medias hermanas paternas y PL/PM de la madre de la vaca ($I = 0,24(F_v) + 0,33(F_{MHP}) + 0,19(F_M)$) resultó ser el más eficiente. La correlación entre el índice y el valor genético del índice fue de 0,64. El cambio genético por generación que se esperaría en PL305 es de 218,84 kg, acompañado por una ligera reducción en % de grasa. Es importante notar que el uso de la PL/PM de la vaca, aún en el índice, vislumbra la factibilidad de hacer cambiar la producción por ha como función de un manejo tropical específico. Trabajar con PL/PM en los índices fue más eficiente, aún cuando este se comparó con PL305.

SALGADO F. D. J. 1988. Selection indices and the evaluation of their effectiveness for milk and composition traits in the humid tropics. Thesis Mag. Sci. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 124 p.

KEY WORDS: Milk, fat, protein, Criollos, Jersey, tropic, genetic parameters, selection indices.

SELECTION INDICES AND THE EVALUATION OF THEIR EFFECTIVENESS FOR MILK AND COMPOSITION TRAITS IN THE HUMID TROPICS

SUMMARY

Records (N=4,018) from the of Criollos, Jersey and their crosses were collected during 37 years (1950-1987) in the tropical livestock station of the Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) were analyzed with the objective of estimating genetic parameters (heritability (h^2), repeatability (r) and genetic correlations) and to study the efficiency of some selection indices under the humid tropical conditions of Turrialba. The animals were managed intensively on pastures and milked twice daily. The traits considered in the present study were milk production in 305 days (PL305), milk production per kg metabolic weight of the cow at parturition (PL/PM), milk production corrected for fat (PLLCG) fat (RG305) and protein (RP305) production per lactation and fat (PG305) and protein (PP305) percentage. Data were analysed employing the least squares procedures as proposed by Harvey (1960). The genetic parameters for the traits mentioned above were estimated from a model which included effects of genetic group, calving season, management system, sire within genetic group and dams within sire and genetic group. In addition, daughter-dam regression of analysis was carried out to obtain estimates h^2 and r_e for all traits, except for protein. The r_e estimates in this study were 0.50 ± 0.02 , 0.48 ± 0.02 , 0.48 ± 0.02 , 0.47 ± 0.02 , 0.57 ± 0.03 , 0.43 ± 0.02 and 0.21 ± 0.03 for PL305, PLLCG, PL/PM, RG305, RP305, PG305 y PP305, respectively, while h^2 es-

estimates for the respective traits were 0.27 ± 0.09 , 0.18 ± 0.09 , 0.29 ± 0.10 , 0.12 ± 0.08 , 0.29 ± 0.10 , 0.33 ± 0.08 and 0.14 ± 0.08 . The genetic and phenotypic correlations between the production traits (PL305, PLLCG, PL/PM, RG305 and RP305) were all positive, varying between 0.82 to 0.99 and 0.42 to 1.05, respectively. The phenotypic correlations between the production traits and those expressed in percentage (PG305 and PP305) were close to zero, except between PG305 and RG305, PG305 and PP305 and between PP305 y RP305, which varied between 0.22 to 0.29. The genetic correlations between the production traits and these expressed in percentage varied between 0.08 to -0.79. The estimates values reported above suggest the possibility of directing selection for any of the production traits with the expectation of obtaining simultaneous changes in others, but not in PG305 and PP305. In particular, it is important to mention that the r_g between PL/PM of the cow and the other production traits was found to be positive, making it possible for genetic management in order to optimize milk production per hectare in view of its importance in the tropics. Of the selection indices evaluated in the present study, those that were considered PL/PM of the cow, PL/PM of paternal half sisters and PL/PM of the dam ($I = 0.24(F_v) + 0.33(F_{MHP}) + 0.19(F_M)$) resulted to be the most efficient. The correlation between the index and the its genetic value was 0,69 allowing an expected genetic change per generation in PL305 of 218.84 kg, accompanied by a slight reduction in fat percent. It is important to note that the use of the PL/PM of the cow, even in the index, make it feasible to change production per hectare as a function of specific tropical management. To work with PL/PM in the indices was more efficient, even when compared with PL305.

LISTA DE CUADROS

Cuadro No.		
1	Indices de herencia para producción de leche (PL), porcentaje de grasa (PG) y producción de grasa (RG) en los trópicos.....	10
2	Indices de herencia para producción de leche (PL), porcentaje de grasa (PG), producción de grasa (RG), porcentaje de proteína y producción de proteína en las zonas templadas.....	11
3	Correlaciones genéticas entre producción de leche y sus constituyentes (PG, RG, PP, RP).	16
4	Correlaciones genéticas entre producción de grasa y constituyentes de la leche (PG, PP, RP).....	17
5	Correlaciones genéticas entre porcentaje de grasa y proteína (PP, RP).....	18
6	Correlaciones genéticas entre porcentaje y rendimiento de proteína.....	18
7	Respuesta directa y correlacionada por generación de selección al seleccionar sobre una sola característica ($i=1$).....	25
8	Respuestas directas y correlacionadas por generación de selección al seleccionar usando un índice de selección basado en un diferencial de selección de una desviación estándar fenotípica.....	26
9	Resumen de datos agroclimáticos acumulados en diferentes años en Turrialba.....	28
10	Grupos raciales usados en el Hato lechero del CATIE durante el período 1951-1987.....	37
11	Número de registros disponibles antes (NRI) y después (NRD) de las restricciones.....	37
12	Clasificación de los sementales del Hato lechero del CATIE según los años de uso.....	43
13	Análisis de varianza y componentes de varianza para estimar el índice de constancia (r) para las características estudiadas (Modelo 2).....	43
14	Análisis de varianza de mínimos cuadrados para PL305, PLLCG, PL/PM, RG305, RP305, PG305 y PP305 en el hato lechero del CATIE (Modelo 2).....	52
15	Medias de mínimos cuadrados y su error estándar por grupo racial, después de ajustar por número de parto, para cada una de las características estudiadas.....	56

16	Indices de constancia(r) y de herencia(h^2) con sus respectivos errores estándar para las distintas características estudiadas.....	55
17	Var-covarianzas y correlaciones fenotípicas entre las distintas características estudiadas (Modelo 2).....	60
18	Var-covarianzas y correlaciones genéticas entre las distintas características estudiadas.....	60
19	Cambio genético esperado(CGE) ² por generación en PL305, PL/PM, PLLCG, RG305, RP305, PG305 y PP305 para selección simple de una característica basado en un diferencial de selección fenotípico de una desviación estándar.....	66
20	Cambio genético esperado(CGE) expresado como una proporción del CGE directo(CGD) producto de seleccionar sobre una simple característica basado en un diferencial de selección de una desviación estándar.....	66
21	Cambio genético esperado(CGE) por generación en las distintas características estudiadas y correlación entre el genotipo y el índice(r_{IT}) al seleccionar sobre la PL305 usando el número de registros actuales de distintos grupos familiares.....	74
22	Cambio genético esperado(CGE) por generación en las distintas características estudiadas y correlación entre el genotipo y el índice(r_{IT}) al seleccionar sobre PL/PM usando el número de registros actuales de distintos grupos familiares.....	74
23	Cambio genético esperado por generación (CGE) para las distintas características y correlación entre el genotipo y el índice(r_{IT}) al seleccionar sobre PL305 usando diferentes números de registros de distintas fuentes de información....	76
24	Cambio genético esperado (CGE) para las distintas características estudiadas y correlación entre el genotipo y el índice(r_{IT}) al seleccionar sobre PL/PM usando diferentes números de registros de distintas fuentes de información.....	78
25	Cambio genético esperado(CGE) ² en las distintas características estudiadas al seleccionar para PL305 usando distintas características de información basado en un diferencial de selección fenotípico de una desviación estándar.....	89

26	Cambio genético esperado (CGE) para las distintas características estudiadas al seleccionar sobre PL/PM usando distintas características de información basado en un diferencial de selección fenotípico de una desviación estándar.....	90
27	Cambio genético esperado (CGE) en las distintas características estudiadas al seleccionar sobre grasa o proteína basado en un diferencial de selección fenotípico de una desviación estándar...	92
28	Indices de selección más eficientes surgidos del presente estudio.....	92

APENDICE

Cuadro No.

1A	Número de sementales (NS), número de vacas (NH) y número de registros (NR) por raza codificados para el presente estudio ¹	104
2A	Número de registros según la edad al parto en el Hato lechero del CATIE durante los años 1951-1987.....	105
3A	Número de registros según el número de parto en el Hato lechero del CATIE durante los años 1951-1987.....	106
4A	Número de registros según el tipo de lactancia en el Hato lechero del CATIE durante los años 1951-1987.....	107
5A	Análisis de varianza de mínimos cuadrados, sintetizado a partir de distintos modelos, para producción de leche ajustada a 305 días de lactancia.....	108
6A	Medias de mínimos cuadrados y error estándar para producción de leche ajustado a 305 días y factores de ajuste (F) por número de parto en cada grupo racial.....	109
7A	Medias de mínimos cuadrados y error estándar para producción de leche por peso metabólico y factores de ajuste (F) por número de parto, en cada grupo racial.....	110
8A	Medias de mínimos cuadrados y error estándar para producción de leche corregida por grasa y factores de ajuste (F) por número de parto en cada grupo racial.....	111
9A	Medias de mínimos cuadrados y error estándar para producción de grasa en kg y factores de ajuste (F) por número de parto en cada grupo racial.	112

10A	Medias de mínimos cuadrados y error estándar para porcentaje de grasa y factores de ajuste (F) por número de parto en cada grupo racial.....	113
11A	Medias de mínimos cuadrados y error estándar producción de proteína y factores de ajuste (F) por número de parto en cada grupo racial.....	114
12A	Medias de mínimos cuadrados y error estándar para porcentaje de proteína y factores de ajuste (F) por número de parto en cada grupo racial....	115
13A	Componentes de varianza para Padre de vaca (σ_B^2), vaca anidada en Padre ($\sigma_{V/A}^2$) y el error (σ_e^2) para las distintas características estudiadas.....	116
14A	Ejemplo de cálculo de un índice de selección que considera X_1 como característica a seleccionar y X_2 como característica de información.....	117 ✓

LISTA DE FIGURAS

Figura No.

1	Distribución de los grupos raciales mantenidos en el hato lechero del CATIE durante los años 1951-1987.....	30
2	Cambio genético esperado expresado como una proporción de la respuesta genética directa para PL305 al seleccionar sobre una sola característica.....	70
3	Cambio genético esperado expresado como una proporción del cambio genético directo para cada una de las características estudiadas al seleccionar sobre una sola sobre PL/PM o sobre PL305.....	72
4	Efecto de la inclusión de registros de una media hermana paterna sobre el cambio genético esperado en PL305 al seleccionar sobre PL305 o PL/PM.....	81
5	Efecto de la inclusión de registros de la madre sobre el cambio genético esperado en PL305 al seleccionar sobre PL305 o PL/PM.....	82
6	Efecto del número de medias hermanas paternas (con un registro) sobre el cambio genético esperado por generación de selección en PL305 al seleccionar sobre PL305 o PL/PM.....	84
7	Cambio genético esperado (CG) expresado como una proporción del CG directo en las distintas características estudiadas producto de seleccionar en base a un índice ($I = 0,24V + 0,33MHP + 0,19M$).....	85

8	Cambio genético esperado(CG) expresado como una proporción del CG directo en las distintas características estudiadas al seleccionar en base a IS1 o IS2.....	86
9	Cambio genético esperado(CG) expresado como una proporción del CG directo en las distintas características estudiadas producto de seleccionar en base a IS1, IS2 o IS3.....	93
1A	Producción de leche por peso metabólico, según el número de parto, en los distintos grupos raciales.....	118
2A	Producción de leche ajustada a 305 días, según el número de parto, en los distintos grupos raciales.....	119
3A	Producción de leche corregida a 4% de grasa, según el número de parto, en los distintos grupos raciales.....	120
4A	Producción de grasa ajustada a 305 días, según el número de parto, en los distintos grupos raciales.....	121
5A	Producción de proteína ajustada a 305 días, según el número de parto, en los distintos grupos raciales.....	122
6A	Porcentaje de grasa ajustada a 305 días de lactancia, según el número de parto, en los distintos grupos raciales.....	123
7A	Porcentaje de proteína ajustada a 305 días, según el número de parto, en los distintos grupos raciales.....	124

1. INTRODUCCION

La importancia de la leche como un alimento de alto valor nutritivo en la nutrición humana es ampliamente reconocida (Campbell y Marshall, 1975; Kon, 1972). A pesar de esto, en Centro América la disponibilidad de proteína de origen animal en 1985 fue de solo 18 g por persona (FAO, 1985). Esto es indicativo del deficiente consumo que tienen gran parte de la población de los países de la región mencionada. La causa de este déficit en parte es por la magnitud de la diferencia que hay entre el crecimiento bio-económico y el demográfico.

La producción total de leche en Centro América incrementó desde 1.134.000 ton en 1970 hasta 1.485.000 ton en 1985, representando un 30,96% de incremento en 15 años. Este fue acompañado por un incremento en rendimiento lechero por vaca de 0,86% anual y un incremento en la población total de vacas lactantes de 1,10% por año. En el mismo período (de 1970 a 1985) la población humana subió de 16.783 millones a 25.939 millones de habitantes, representando un incremento de 54,56% (FAO, 1972; FAO, 1985). Las cifras anteriores indican que el incremento demográfico ha sido aproximadamente dos veces más grande que el de la producción total de leche y cuatro veces más que el de la productividad por vaca, mientras que fue tres veces más grande que el de la población bovina. Las relaciones estadísticas antes mencionadas señalan claramente que el suministro de proteína de leche está siendo significativamente rebasado por el cada vez más grande crecimiento demográfico. Lo interesante es que la productividad por vaca, aunque registra cambio positivo, está muy lejos de proporcionar alguna solución.

La ineficiente producción de leche en los países en desarrollo y, particularmente en Centro América, es en parte debido a la falta de técnicas apropiadas de producción sostenida y de fácil aplicación. Tales técnicas pueden incluir los componentes

biológicos, físicos y económicos. Dentro del componente biológico se debe considerar el aspecto genético de los animales, que se explotan para la producción de leche en la región. Los recursos genéticos pecuarios para la producción láctea en Centro América incluyen aquellos denominados como Criollo lechero centroamericano o Ganado Reyna, razas europeas lecheras como Holstein, Jersey, Ayrshire, Guernsey y Suizo entre otros, así como cruces especialmente entre Cebú y europeo bajo diferentes modalidades de producción.

En el área centroamericana se reconocen predominantemente tres sistemas de producción lechera (Tewolde, 1986): (1) lechería especializada bajo estabulación completa caracterizada por la utilización de razas lecheras europeas y alimentación a base de concentrados, (2) sistema de producción lechera bajo pastoreo en el cual se explotan mayormente animales originados de los cruces del Cebú con razas lecheras especializadas y (3) el sistema de producción conocido como de doble propósito (producción de leche con apoyo del ternero) caracterizado por el uso de animales de genotipos indefinidos (Cebú comercial). En cada uno de estos sistemas, la utilización del genotipo criollo lechero ha sido muy limitado, a pesar de que existen evidencias sobre su potencial para la producción de leche bajo condiciones del trópico húmedo (De Alba y Kennedy, 1985).

Independientemente del sistema de producción, en la mayoría de las explotaciones lecheras el manejo genético que se practica es muy variable. Por ejemplo, es común ver que se seleccionen animales usando criterios principalmente fenotípicos o, en el mejor de los casos, usando la simple medida de producción de leche. Esto ha provocado que hasta ahora, el progreso genético en estos sistemas sea bajo, por no decir nulo. Esto implica que en el trópico Centroamericano, la generación y aplicación de metodologías de evaluación de animales para algunas características de importancia económica y social, como la leche, ha sido muy limitada. Esta limitación es aún más pronun-

ciada cuando se considera la metodología de evaluación genética y de selección de los animales en cada sistema.

El manejo genético de los animales puede involucrar desde la identificación y selección de hembras de reemplazo hasta la selección de sementales reproductores empleando diferentes métodos y formas de selección. En el caso del Criollo lechero centroamericano o Ganado Reyna, el cual cuenta con una permanencia de más de 35 años en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), ha sido sujeto a manejos genéticos fluctuantes a lo largo del tiempo. A pesar de ello, se han observado avances genéticos positivos en producción de leche hasta de $8,5 \pm 8,6$ kg/año en el período comprendido de 1954 a 1981 (De Alba y Kennedy, 1985). Hay que destacar en esto que la selección que se practicaba, tanto para los sementales (que nacieron en el hato) como para las vacas, fue solamente en base a la producción de leche. El avance genético antes mencionado aún podría haber sido mayor si se hubiera considerado la implementación de un índice de selección. Tal índice puede considerar producción de leche por lactancia, grasa y proteína de la propia vaca y de sus parientes. Así, se puede documentar el papel global que juegan los genes criollos en un sistema de producción de leche.

En base a lo anteriormente expuesto, el presente trabajo tiene los siguientes objetivos :

a) Construir y evaluar un índice de selección que considere la producción de leche por vaca por lactancia, por peso metabólico, grasa o proteína en combinaciones diferentes y distintas fuentes de información (de la vaca, la madre y las medias hermanas paternas de la vaca) para el hato lechero del CATIE.

b) Estudiar la efectividad del índice de selección que resulta ser más eficiente bajo condiciones de trópico húmedo.

2. REVISION DE LITERATURA

El mejoramiento genético del ganado lechero es posible realizarlo a partir de dos vías: selección y cruzamiento. Los sistemas de cruzamiento son muy comunes en las ganaderías del área, pero son efectuados sin obedecer a ningún esquema específico ni objetivo establecido. Por lo mismo los animales involucrados, al menos hasta donde se pudo investigar en la literatura, generalmente son de composición genética indefinida, o sea, existe una heterogeneidad de grupos raciales producto del cruzamiento de razas en forma irracional.

Existen diferentes maneras de escoger individuos destinados a ser padres en la siguiente generación, tomando en cuenta cualidades genéticas positivas para una determinada característica, como producción de leche, grasa o proteína. Entre los más comunes está la selección individual, la cual considera la producción de leche o cualquier otra característica como el único criterio de selección. Por otro lado, se emplean para el mejoramiento simultáneo de más de una característica los métodos tandem (mejorar característica por característica hasta el nivel deseado, para cada una de ellas), desecho independiente (aquellos animales que cumplen con una serie de requisitos mínimos, establecidos por el mejorador, en cada característica son seleccionados) y el de registro total o índice de selección (escoger el individuo en base a un registro total constituido de la suma de los méritos en cada característica individual) (Hazel y Lush, 1942). En este último, el éxito de la selección depende del grado en el cual el índice represente al valor genotípico agregado del individuo sujeto a selección (Henderson, 1963).

La utilidad relativa del índice de selección ha sido ampliamente demostrada en estudios anteriores (Harvey y Lush, 1952; Legates y Lush, 1954; Tabler y Touchberry, 1955). Sobre este aspecto, Hazel y Lush (1942) señalan que el mejoramiento

genético puede ser alcanzado más efectivamente si la información de aquellas características importantes son combinadas dentro de un índice para expresarlo como un valor total. Los mismos autores demuestran que cuando las características no son correlacionadas y de igual importancia, la superioridad del índice en eficiencia sobre el método tandem es igual a la raíz cuadrada del número de características consideradas (\sqrt{n}). En general, se puede afirmar que el método del índice nunca es menos eficiente que los otros dos métodos (Hazel y Lush, 1942; Young, 1961). Este concepto, generado hace varios años, se usa hasta la fecha en la mayoría de los lugares donde se han aplicado técnicas de mejoramiento genético utilizando registros (Ronningen y Van Vleck, 1985).

Por otro lado, el mejoramiento genético del ganado lechero en los países desarrollados ha estado orientado a incrementar la producción de leche por vaca con poca o ninguna atención a la composición de la leche (Gibson, 1987). Los países centroamericanos no han sido la excepción y en aquellos sitios donde se ha pretendido mejorar genéticamente el ganado, el patrón ha sido el mismo, particularmente debido a los patrones de consumo y al sistema de pago de la leche.

La gran interrogante es si la composición de la leche reúne los requerimientos adecuados para el consumo humano, particularmente ahora que la grasa animal ha sido relacionada con enfermedades cardiovasculares (Young et al., 1986).

De todo lo anterior se desprende la necesidad de estudiar la importancia de la composición láctea en la evaluación genética de los animales, ya sea para alterarla, mantenerla o como coadyuvante en el mejoramiento genético de la producción de leche por vaca. Desafortunadamente, en Centro América, medidas de la producción y composición de la leche son inusuales.

2.1 VARIABILIDAD GENETICA PARA PRODUCCION DE LECHE Y SUS CONSTITUYENTES.

La posibilidad de lograr adelantos genéticos en una característica depende del índice de herencia y de la variabilidad que muestra dicha característica. El índice de herencia es la medida de la fracción de la varianza total atribuible a diferencias genéticas aditivas entre animales (Turner y Young, 1969). Entre más grande es la diferencia, más efectiva puede ser la selección. La varianza genética aditiva es fácilmente cuantificada mediante el índice de herencia (h^2). Estudios de la variabilidad genética de los componentes de la leche son relativamente escasos en América Latina. Tal situación es más marcada cuando se trata de la producción de proteína como componente.

Existen varios estimadores de h^2 para la producción de leche bajo las condiciones tropicales y templadas. En general el h^2 para producción de leche (PL) en los trópicos varía entre 0,03 y 0,64 (Tewolde, 1987). Por otro lado, Wilcox (1987) reporta valores de h^2 para porcentaje de grasa (PG) y porcentaje de proteína (PP) entre 0,50 y 0,60 en las áreas de clima templado. En el mismo orden, Verde et al. (1970) trabajando con 5.987 registros de vacas Holstein, nativas y sus mezclas reportaron h^2 de 0,21 para PL. En Colombia, Abubakar et al. (1986) analizando 24.134 registros de primera lactancia de vacas Holstein reportó un h^2 de 0,07 para PL. En México, Nuñez et al. (1983) estimó una h^2 para PL de $0,26 \pm 0,11$ en 1.082 lactancias de ganado Holstein de Puebla, México. Otros trabajos que se pueden citar en los trópicos están los de Vaccaro et al. (1979) en Perú quienes informan de un h^2 para PL de $0,49 \pm 0,03$ usando las primeras lactancias de Holstein. Los mismos autores reportan h^2 para producción de grasa (RG) de $0,56 \pm 0,30$. Por otro lado, Sequeira (1986) encontró h^2 de $0,13 \pm 0,04$ para PL al analizar 3.125 lactancias de ganado Pardo Sulizo y cruces de éste con Criollo, Holstein y Cebú en Nicaragua. Otro trabajo rea-

lizado en la región Centroamericana incluye el de Peroz et al. (1974). Estos autores reportaron un h^2 para PL y RG de 0,29 y 0,40, respectivamente en ganado Holstein en Guatemala. Estimadores similares a estos fueron encontrados en Ecuador por Adkinson et al. (1974) en un hato Holstein. Los autores antes indicados encontraron h^2 de $0,32 \pm 0,02$ para PL, $0,48 \pm 0,03$ para RG y de $0,68 \pm 0,03$ para PG .

Los estimadores de h^2 para porcentaje o producción de grasa en los trópicos latinoamericanos han sido limitados (Adkinson et al., 1974; Peroz et al., 1974 y Vaccaro et al., 1979), trabajos tendientes a estimar h^2 para proteína son todavía más limitados. La situación en las zonas templadas es diferente en el sentido de que los estudios sobre la variabilidad genética de los componentes de la leche son abundantes, particularmente para grasa. Por ejemplo, Hermas et al. (1987) usando registros de primera lactancia de vacas Guernsey colectados entre 1958 y 1981 en EE.UU. determinó un h^2 para PL, RG y PG de $0,24 \pm 0,12$, $0,26 \pm 0,12$ y $0,77 \pm 0,15$ respectivamente. Dichos estimadores fueron obtenidos a través de correlación entre medios hermanos paternos a partir de un modelo lineal mixto que consideró efecto fijo de hato, raza, año y estación de parto y efecto aleatorio de semental dentro de raza. En este trabajo, tanto la grasa como la leche fueron ajustadas a dos ordeños (2X), 305 días de lactancia (305) y equivalente maduro (EM). Otros estudios que se revisaron en climas templados incluyen entre otros, los de Seykora y McDaniel (1983), Wunder y McGilliard (1964), Peterson et al. (1982) y Hardie et al. (1978). Por ejemplo, Seykora y McDaniel (1983) reportaron h^2 estimada como correlación intraclase para PL y RG de $0,25 \pm 0,05$ y $0,29 \pm 0,05$, respectivamente. Los valores de h^2 en este estudio fueron de $0,35 \pm 0,04$ y $0,33 \pm 0,04$ cuando la estimación fue hecha mediante la regresión madre-hija. En ambos casos, estos autores consideraron registros de primeras lactancias de Holstein en EE.UU. Por otro lado Wunder y McGilliard (1964) también en EE.UU. usando 1.067 pares madre-hija Holstein y 239 pares

madre-hija Guernsey encontraron h^2 para PL, RG, PG, producción de proteína (RP) y PP, de 0,17, 0,14, 0,62, 0,06 y 0,36, respectivamente en ganado Holstein. En Guernsey estos estimadores fueron de 0,05, 0,15 y 0,43 para PL, RG y PG, respectivamente.

Asimismo índices de herencia de $0,48 \pm 0,17$, $0,45 \pm 0,16$ y $0,54 \pm 0,18$ para PL, RG y RP fueron dados por Peterson et al. (1982) a partir del análisis de 530 lactancias de vacas Holstein. Para esto se empleó un modelo incluyendo efecto aleatorio de semental y efecto fijo de hato, estación, hato X estación y edad de la vaca y largo de lactancia como covariables. Por otro lado, Gaunt et al. (1968) también estudiando 6.432 lactancias de ganado Holstein colectados entre 1957 y 1965 en EE.UU. y usando la regresión madre-hija obtuvieron estimadores de h^2 para PL, RG, RP, PG y PP de $0,25 \pm 0,09$, $0,22 \pm 0,08$, $0,17 \pm 0,09$, $0,49 \pm 0,08$ y $0,68 \pm 0,09$, respectivamente.

Hargrove et al. (1981) usando 9.747 primeras lactancias de Holstein, desviado del promedio de las contemporáneas, obtuvieron h^2 de $0,23 \pm 0,07$, $0,26 \pm 0,08$, $0,22 \pm 0,07$, $0,71 \pm 0,09$ y $0,64 \pm 0,09$ para PL, RG, RP, PG y PP, respectivamente. Los valores de h^2 en el trabajo de Butcher et al. (1967) fueron de $0,28 \pm 0,07$, $0,17 \pm 0,07$, $0,21 \pm 0,10$, $0,62 \pm 0,07$ y $0,47 \pm 0,08$, respectivamente para PL, RG, RP, PG y PP. En este trabajo se consideraron 3.841 lactancias para producción de leche y grasa y 2.307 registros para proteína de animales Holstein. Así como los que se revisaron anteriormente, existen muchos otros estudios sobre el h^2 para producción de leche y componentes de estas en las regiones templadas (Thompson y Loganathan, 1968; Gacula et al.; 1968; Hardie et al.; 1978; Tong et al., 1979; Jager y Kennedy, 1987).

✓ El Cuadro 1 muestra un resumen de estimadores de h^2 para PL, PG y RG en los trópicos. En este Cuadro se puede apreciar que el h^2 para PL, PG y RG varían entre -0,65 y 0,49, 0,36 y 0,68, 0,40 y 0,56, respectivamente. Aunque son reportados va-

lores negativos para h^2 , es de hacer notar el gran tamaño de los errores estándar asociados con este tipo de estimadores, producto quizás del reducido tamaño de muestra empleado en tales trabajos. El Cuadro 2 presenta h^2 para producción de leche y sus constituyentes obtenidos en las regiones templadas. La variabilidad genética para PL y RG en el trópico es alrededor de un 24% y 40%, respectivamente. Este último parámetro en las áreas de clima templado parece ser solamente de 30% (Cuadro 2). En general, los valores de h^2 para PL y PG son mayores en las regiones templadas que los del trópico (Cuadros 1 y 2).

Posibilidades de manipulación genética para porcentaje o producción de proteína también parecen posibles al menos según informes de zonas no tropicales. En el Cuadro 2 puede notarse una tendencia de h^2 para PP de ser superior al 50%, mientras que para RP, dicho valor parece estar alrededor del 25%. Estos valores de h^2 relativamente altos sugieren que cambios en la producción y composición de la leche son posibles a través de mejoramiento selectivo.

2.2 INDICES DE SELECCION INCLUYENDO INFORMACION DE PARIENTES DE LA VACA.

El mejoramiento de características con bajo índice de herencia puede ser sustancial, si en la selección, se le da atención apropiada al fenotipo de parientes cercanos en adición al fenotipo del mismo animal (Henderson y Quaas, 1976). Al respecto Ronningen y Van Vleck (1985) puntualizan que un mayor progreso genético es esperado al usar un índice que además de considerar la producción del individuo, también considera información procedente de sus parientes. Algunos estudios han evaluado la importancia de la inclusión de parientes en la estimación del valor genético de una vaca. Por ejemplo, Legates y Lush (1954) trabajando con 23.330 lactancias de vacas Jersey encontraron que el progreso genético esperado al usar un índice

Cuadro 1. Indices de herencia para producción de leche (PL), porcentaje de grasa (PG) y producción de grasa (RG) en los trópicos.

Autor	País	Grupo racial	N	PL±EE	PG±EE	RG±EE
Adkinson <u>et al.</u> (1974)	Ecuador	Holstein	24.500	0,32±0,02	0,68±0,03	0,48±0,03
Lobo <u>et al.</u> (1979)	Brasil	Gyr	2.246	0,28±0,08	---	---
Verde y Bodisco (1976)	Venezuela	Pardo Suizo	282	0,24±0,17	---	---
Negrón <u>et al.</u> (1976)	Costa Rica	Red Poll				
		Pardo Suizo				
		Holstein				
		Cebú				
		Cruces	1.882	0,28±0,11	---	---
Peroz <u>et al.</u> (1974)	Guatemala	Holstein	749	0,29	---	0,40
Vaccaro <u>et al.</u> (1979)	Perú	Holstein	3.108	0,49±0,03	---	0,56±0,30
Núñez <u>et al.</u> (1983)	México	Holstein	1.082	0,26±0,11	---	---
Abubakar <u>et al.</u> (1986)	Colombia	Holstein	24.134	0,07	---	---
Verde <u>et al.</u> (1970)	Venezuela	Holstein				
		Nativo				
		Cruces	5.987	0,21	---	---
Alvarez (1975)	Costa Rica	Criollo(C)	1.117	0,25±0,01	---	---
		Jersey(J)	433	-0,31±0,02	---	---
		1/2C x 1/2J	397	0,41±0,01	---	---
		1/2J x 1/2C		0,70±0,02	---	---
Bodisco <u>et al.</u> (1971)	Venezuela	Pardo Suizo	1.046	0,07±0,07	---	---
		Holstein(H)	89	-0,65±0,48	---	---
Leon (1979)	El Salvador	3/4H x 1/4C	190	-0,01±0,16	---	---
		Pardo Suizo	171	0,17±0,30	---	---
		3/4PS x 1/4B	198	-0,52±0,56	---	---
		1/2Hx1/2Bx1/4C	143	0,03±0,21	---	---
		Ps x B x C	103	0,37±0,43	---	---
Magofke (1964)	Costa Rica	Criollo	115	0,16±0,08	0,36±0,18	---
		Pardo Suizo	199	-0,26±0,13	---	---
Martínez (1979)	El Salvador	3/4 PS	128	-0,17±0,13	---	---
		1/2 PS	110	0,13±0,26	---	---
Morales (1972)	Costa Rica	Guernsey	1.044	0,23	---	---
Schneeberger <u>et al.</u> (1982)	Jamaica	Jamaica				
		Hope	8.819	0,35	---	---
Sequeira (1986)	Nicaragua	Pardo Suizo				
		Cruces	3.125	0,13±0,04	---	---
Salgado (1986)	México	Holstein	1.112	0,28±0,11	---	---
Amble <u>et al.</u> (1958)	India	Sindhi	---	0,34±0,18	---	---
		Sindhi	---	0,37±0,14	---	---

Cuadro 2. Índices de herencia para producción de leche (PL), porcentaje de grasa (PG), producción de grasa (RG), porcentaje de proteína y producción de proteína en las zonas templadas.

Autor	País	Grupo racial	N	PL±EE	PG±EE	RG±EE	PP±EE	RP±EE
Tong <u>et al.</u> (1979)	Canadá	Holstein	17.000	0,26	0,35	0,26	0,52	0,19
Seykora y McDaniel (1983)	EE.UU.	Holstein	3.431	0,25±0,05	---	0,29±0,05	---	---
Hardie <u>et al.</u> (1978)	EE.UU.	Holstein	7.513	0,27	0,64	0,38	---	---
		Guernsey	2.521	0,21	0,60	0,07	0,47	0,25
Gacula <u>et al.</u> (1968)	EE.UU.	Ayshire	961	0,43±0,19	0,02±0,14	0,34±0,18	0,09±0,13	0,37±0,18
		Guernsey	853	0,19±0,16	0,60±0,21	0,41±0,18	0,25±0,17	0,41±0,19
		Holstein	1.005	0,37±0,21	0,45±0,22	0,45±0,22	0,79±0,25	0,30±0,20
		Jersey	692	0,46±0,24	0,61±0,25	0,10±0,20	0,35±0,23	0,20±0,21
Pardo Suizo	742	0,29±0,22	0,44±0,23	0,03±0,19	0,50±0,24	0,20±0,21		
Thompson y Logana- than (1968)	EE.UU.	Holstein	4.664	0,37±0,10	0,55±0,09	0,22±0,09	---	---
Butcher <u>et al.</u> (1967)	EE.UU.	Holstein	3.841	0,28±0,07	0,62±0,07	0,17±0,07	0,47±0,08	0,21±0,10
Hargrove <u>et al.</u> (1981)	EE.UU.	Holstein	9.747	0,23±0,07	0,71±0,09	0,26±0,08	0,64±0,09	0,22±0,07
Gaunt <u>et al.</u> (1968)	EE.UU.	Holstein	6.432	0,25±0,09	0,49±0,08	0,22±0,08	0,68±0,09	0,17±0,09
Heraas <u>et al.</u> (1987)	EE.UU.	Guernsey	---	0,24±0,12	0,77±0,15	0,26±0,12		
Wunder y McGilliard (1964)	EE.UU.	Holstein	1.067	0,17	0,62	0,14	0,36	0,06
		Guernsey	239	0,05	0,43	0,15	---	---
Mather <u>et al.</u> (1969)	EE.UU.	Guernsey						
		Jersey						
		Holstein	4.115	0,27±0,06	0,58±0,08		0,58±0,08	
Tabler y Touchberry (1955)	EE.UU.	Jersey	2.810	0,25	0,56	0,20	---	---
Tabler y Touchberry (1959)	EE.UU.	Holstein	20.024	0,27	0,57	0,24	---	---
Jager y Kennedy (1987)	Canadá	Holstein	32.077	0,28	0,69	0,31	0,59	0,20
Peterson <u>et al.</u> (1982)	EE.UU.	Holstein	530	0,48±0,17	---	0,45±0,16	---	0,54±0,18

considerando la producción de grasa de la vaca, su madre, sus hijas, sus medias hermanas paternas y maternas es por lo menos cerca de 1,10 a 1,15 veces más rápido que cuando solamente se utiliza el comportamiento de la misma vaca.

La mejora en la estimación del valor genético del individuo, producto de la inclusión de parientes, depende, además del índice de herencia, del número de registros del animal sujeto a evaluación. En el estudio realizado por Legates y Lush (1954) encontraron que cuando la vaca posee al menos tres registros es muy poca la información adicional proporcionada por los parientes. Sin embargo, si la vaca posee un solo registro de producción, la información proporcionada por los parientes es sumamente valiosa. Ellos determinaron que las medias hermanas paternas de la vaca son quienes más contribuyen en la valoración. Las medias hermanas maternas y las hijas parecen no contribuir mucho cuando al menos son considerados tres registros de las madres y tres de la vaca. McGilliard y Freeman (1976) afirman que la contribución de la madre y las medias hermanas paternas no son muy importantes en la estimación del valor genético para producción de leche de la hembra.

En otro estudio, Deaton y McGilliard (1965) trabajando con 7.638 primeras lactancias de ganado Holstein en EE.UU. encontraron que seleccionar con base a un índice, se incrementa la exactitud de la estimación del valor genético entre 10 a 20% dependiendo de los parientes considerados, en relación a seleccionar solamente en base al componente de la misma vaca. Los autores concluyen que la madre y las medias hermanas maternas contribuyen poco, mientras que las medias hermanas paternas y las hijas de las vacas mejoran sustancialmente la correlación entre el índice y el genotipo de la vaca. En cambio, Powell (1978) concluye, que la madre y el abuelo materno son quienes más contribuyen al incremento en correlación entre el índice y el genotipo de la vaca. En todos los estudios aquí revisados,

es evidente que la inclusión de la información de parientes del individuo mejora sustancialmente la eficiencia de la selección, sin embargo la contribución de cada pariente no parecer ser constante, sino que depende de la población estudiada.

2.3 CORRELACIONES GENÉTICAS ENTRE LA PRODUCCION DE LECHE Y SUS CONSTITUYENTES.

La selección para o contra una característica, rara vez no interfiere con otras características. Las características son a menudo genéticamente correlacionadas, y selección para una puede resultar en incremento o disminución en otra u otras características. La magnitud de la respuesta correlacionada o indirecta depende, en gran parte, de la magnitud de la correlación genética (r_g) con la característica a seleccionar, mientras que la dirección del cambio es función del signo de la correlación. Diversos estudios han mostrado las relaciones genéticas entre la producción de leche y sus constituyentes como grasa y proteína. Por ejemplo, Hardie *et al.* (1978) encontraron r_g de 0,29, 0,86, -0,75 y -0,22 entre PL y RG, PL y RP, PL y PG y entre PL y PP, respectivamente. Mientras la r_g entre RG y RP, RG y PG y entre RG y PP fueron de 0,68, 0,40 y 0,74. En el mismo estudio, r_g para RP y PG y entre RP y PP fue de -0,39 y 0,30, en tanto 0,67 fue la r_g entre PG y PP. Los estimadores antes mencionados fueron obtenidos empleando un modelo que incluyó efectos fijos de año, estación y edad de parto; hato, semental e hija como efectos aleatorios sobre 2.521 lactancias de ganado Guernsey en EE.UU. En el mismo estudio, con el mismo procedimiento aplicado en 7.513 lactancias de vacas Holstein se obtuvieron r_g entre PL y RG, PL y PG y RG y PG de 0,70, -0,11 y 0,63, respectivamente.

En otro estudio, Tabler y Touchberry (1955) analizando 2.810 pares de registros de madre-hija en ganado Jersey procedentes de 414 hatos de EE.UU. determinaron r_g entre PL y PG de

-0,50, entre PL y RG de 0,72 y entre PG y RG de 0,20. El procedimiento usado en la obtención de los diferentes estimadores fue el descrito por Hazel (1943).

Correlaciones genéticas de $0,77 \pm 0,02$ entre PL y RG, $-0,33 \pm 0,02$ entre PL y PG y $0,34 \pm 0,02$ entre PG y RG fueron determinados por Tabler y Touchberry (1959) en un análisis de 20.024 primeras lactancias de vacas Holstein colectados entre 1948 y 1952 en los EE.UU. Dichas correlaciones fueron obtenidas a través de regresión madre-hija. En otro estudio, similar al anterior, desarrollado por Butcher *et al.* (1967) se estimaron r_g de $0,66 \pm 0,12$ entre PL y RG, $0,82 \pm 0,09$ entre PL y RP, $-0,61 \pm 0,13$ para PL y PG y $-0,45 \pm 0,17$ para PL y PP. En tanto que las relaciones genéticas entre RG y RP, RG y PG y entre RG y PP fueron respectivamente de $0,77 \pm 0,14$, $0,18 \pm 0,16$ y $0,18 \pm 0,26$. En el mismo trabajo las r_g entre RP y PG, RP y PP y PG y PP fueron de $-0,01 \pm 0,20$, $0,14 \pm 0,23$ y $0,74 \pm 0,09$. Para este estudio los autores utilizaron 3.841 lactancias (2.307 para proteína) de vacas Holstein y las correlaciones fueron obtenidas a partir de pares madre-hija.

Jager y Kennedy (1987) realizando un trabajo con 32.077 registros de primera lactancia de vacas Holstein colectadas entre 1973 y 1983 en 1.116 hatos canadienses reportaron r_g de 0,57 entre PL y RG, 0,82 entre PL y RP, 0,66 entre RG y RP, -0,43 entre PL y PG, -0,64 entre PL y PP, 0,48 entre RG y PG, -0,14 entre RG y PP, -0,16 entre RP y PG y -0,16 entre RP y PP. Estos valores fueron estimados a partir de correlaciones intracase de un modelo lineal mixto que incluyó efectos fijos de hato-año-estación, edad al parto, grupo racial y efecto aleatorio de semental.

Hargrove *et al.* (1981) en EE.UU trabajando con 9.747 registros de primer parto de vacas Holstein determinaron r_g de $0,40 \pm 0,18$, $0,83 \pm 0,07$, $-0,56 \pm 0,10$ y $-0,48 \pm 0,11$ entre PL y RG, PL y RP, PL y PG y entre PL y PP, respectivamente. En tanto las r_g

entre RG y RP, RG y PG y RG y PP fueron de $0,69 \pm 0,11$, $0,53 \pm 0,10$ y $0,34 \pm 0,13$, respectivamente. En el mismo estudio la r_g entre RP y PG, RP y PP y PG y PP fueron de $-0,13 \pm 0,14$, $0,09 \pm 0,15$ y $0,77 \pm 0,04$, respectivamente. En este estudio los registros fueron desviados de los de las contemporáneas y sometidos a un modelo lineal que incluyó efectos aleatorios del semental y la vaca. Thompson y Loganathan (1968) determinaron r_g de $0,79$ entre PL y RG, $-0,43$ para PL y PG y de $0,17$ entre RG y PG. En este estudio los autores utilizaron 4.664 registros de ganado Holstein y r_g fueron estimadas a partir de correlaciones intraclase. Existen varios otros estudios que han determinado r_g entre la producción de leche por lactancia y sus constituyentes en las áreas templadas (Gaunt et al. 1968; Peterson et al. 1982).

Trabajos tendientes a estimar correlaciones genéticas entre producción de leche y sus constituyentes han sido limitados en los trópicos latinoamericanos. Algunos de estos trabajos son aquellos de Vaccaro et al. (1979), Adkinson et al. (1974) y Lobo et al. (1979). Por ejemplo, Vaccaro et al. (1979) encontraron r_g entre PL y RG de $0,60 \pm 0,00$ trabajando con 3.108 primeras lactancias de vacas Holstein en Perú. La estimación fue hecha a partir de correlaciones intraclase. Por su lado, Adkinson et al. (1974) con datos (N=2.513) de Ecuador reportaron un valor de r_g de $0,98$ entre PL y RG, $0,09$ entre PL y PG y de $0,30$ entre RG y PG. Otro estudio desarrollado por Lobo et al. (1979) con 2.246 lactancias de Gyr lechero en Brasil determinaron una r_g de $0,64$ entre PL y PG, obtenida a partir de la evaluación de un modelo que consideró efectos de semental, año de parto y largo de lactancia. Resúmenes de estimadores de r_g , tanto en los trópicos como en las zonas templadas, son mostrados en los Cuadros 3, 4, 5 y 6.

Cuadro 3. Correlaciones genéticas entre producción de leche y sus constituyentes (PG, RG, PP, RP)

Autor	País	Grupo racial	N	PG \pm EE	RG \pm EE	PP \pm EE	RP \pm EE
Hardie <u>et al.</u> (1978)	EE.UU.	Guernsey	2.521	-0,75	0,29	-0,22	0,86
		Holstein	7.513	-0,11	0,70	---	---
Tabler y Touchberry (1955)	EE.UU.	Jersey	2.810	-0,50	0,70	---	---
Tabler y Touchberry \times (1959)	EE.UU.	Holstein	20.024	-0,33 \pm 0,02	0,77 \pm 0,02	---	---
Butcher <u>et al.</u> (1967)	EE.UU.	Holstein	3.841	-0,16 \pm 0,13	0,66 \pm 0,12	-0,45 \pm 0,17	0,82 \pm 0,09
Jager y Kennedy (1987)	Canadá	Holstein	32.077	-0,43	0,57	-0,64	0,82
Vaccaro <u>et al.</u> (1979)	Perú	Holstein	3.108	---	0,60 \pm 0,00	---	---
Adkinson <u>et al.</u> (1974)	Ecuador	Holstein	2.513	0,09	0,98	---	---
Lobo <u>et al.</u> (1979)	Brasil	Gyr	2.246	0,64	---	---	---
Hargrove <u>et al.</u> (1981)	EE.UU.	Holstein	9.747	-0,56 \pm 0,10	0,40 \pm 0,18	-0,48 \pm 0,11	0,83 \pm 0,07
Thompson y Loganathan (1968)	EE.UU.	Holstein	4.664	-0,43	0,79	---	---
Gaunt <u>et al.</u> (1968)	EE.UU.	Holstein	6.630	-0,34	0,71	0,12	0,82
Peterson <u>et al.</u> (1982)	EE.UU.	Holstein	500	---	0,82	---	0,95

Cuadro 4. Correlaciones genéticas entre producción de grasa y constituyentes de la leche (PG, PP, RP).

Autor	País	Grupo racial	N	PG+EE	PP+EE	RP+EE
Hardie <u>et al.</u> (1978)	EE.UU.	Guernsey	2.521	0,40	0,74	0,68
		Holstein	7.513	0,63	---	---
Tabler y Touchberry (1955)	EE.UU.	Jersey	2.810	0,20	---	---
Tabler y Touchberry (1959)	EE.UU.	Holstein	20.024	0,34±0,02	---	---
Butcher <u>et al.</u> (1967)	EE.UU.	Holstein	3.841	0,18±0,16	0,18±0,26	0,77±0,14
Jager y Kennedy (1987)	Canadá	Holstein	32.077	0,48	-0,14	0,66
Adkinson <u>et al.</u> (1974)	Ecuador	Holstein	2.513	0,30	---	---
Hargrove <u>et al.</u> (1981)	EE.UU.	Holstein	9.747	0,53±0,10	0,34±0,13	0,69±0,11
Thompson y Loganathan (1968)	EE.UU.	Holstein	4.664	0,17	---	---
Gaunt <u>et al.</u> (1968)	EE.UU.	Holstein	6.630	0,43	0,41	0,56
Peterson <u>et al.</u> (1982)	EE.UU.	Holstein	500	---	---	0,95

Cuadro 5. Correlaciones genéticas entre porcentaje de grasa y proteína (PP, RP).

Autor	País	Grupo racial	N	PP±EE	RP±EE
Hardie <u>et al.</u> (1978)	EE.UU.	Guernsey	2.521	0,67	-0,39
Butcher <u>et al.</u> (1967)	EE.UU.	Holstein	3.841	0,74±0,09	-0,01±0,20
Jager y Kennedy (1987)	Canadá	Holstein	32.077	0,56	-0,16
Hargrove <u>et al.</u> (1981)	EE.UU.	Holstein	9.747	0,77±0,04	-0,13±0,14
Gaunt <u>et al.</u> (1968)	EE.UU.	Holstein	6.630	0,34	-0,16

Cuadro 6. Correlaciones genéticas entre porcentaje y rendimiento de proteína.

Autor	País	Grupo racial	N	r_g ±EE
Hardie <u>et al.</u> (1978)	EE.UU.	Guernsey	2.521	0,30
Butcher <u>et al.</u> (1967)	EE.UU.	Holstein	3.841	0,14±0,23
Jager y Kennedy (1987)	Canadá	Holstein	32.077	-0,16
Hargrove <u>et al.</u> (1981)	EE.UU.	Holstein	9.747	0,09±0,15
Gaunt <u>et al.</u> (1968)	EE.UU.	Holstein	6.630	0,66

2.4 INDICE DE SELECCION PARA PRODUCCION DE LECHE Y SUS CONSTI- TUYENTES.

Intentos para cambiar el mérito genético de una característica en una población, por medio de un programa de selección son usualmente hechos seleccionando sobre el fenotipo para esta característica en forma directa. Pero también puede ser considerada la posibilidad de utilizar cualquier otra característica, además del fenotipo de la característica a mejorar, y de este modo podría incrementarse la respuesta a la selección del carácter de interés. El índice de selección es el procedimiento más valioso en la combinación óptima de diferentes características en la evaluación de un animal (Hazel y Lush, 1942). La eficiencia del índice es evaluado en base a la correlación entre el índice y el genotipo agregado del individuo (r_{IT}). Así el progreso genético esperado a partir de la selección basada en un índice particular es proporcional a la r_{IT} . Cuando se selecciona para una característica, r_{IT} sirve como una base para determinar si hay o no alguna información adicional proporcionada por características correlacionadas con aquella que se desea mejorar. En cambio, cuando la selección es practicada sobre más de una característica, r_{IT} proporciona una base para escoger el índice que permita obtener una mayor ganancia genética total hacia el genotipo agregado deseado.

Diversos estudios han evaluado la eficiencia de varias alternativas de selección para producción de leche y sus constituyente usando un índice (I). Tabler y Touchberry (1955) en una población de ganado Jersey, evaluaron diversas alternativas mediante la utilización de tres índices. Un primer índice (I_1) consideró únicamente PL, el segundo (I_2) incluyó PL y RG, en tanto un tercer índice (I_3) solo consideró RG. Al evaluar el I_1 , la r_{IT} fue de 0,50 asociado con un cambio genético esperado (CGE) de 59,39 kg en PL, -0,03% en PG y 1,86 kg en RG. El I_2 incrementó la r_{IT} hasta 0,55 y los CGE para PL, PG y RG fueron

de 61,29 kg, -0,06% y 1,09 kg. El I_3 provocó una fuerte reducción de CGE para PL (35,87 kg), en cambio el CGE para PG se incrementó a 0,01% y el RG a 2,32 kg. Estos cambios estuvieron asociados con un r_{IT} de 0,45. Los autores señalan que un I considerando PL y PG da iguales resultados que el I_2 . Los mismos autores (Tabler y Touchberry, 1959) diseñaron y evaluaron los mismos tres I en una población de ganado Holstein determinando un r_{IT} de 0,52, 0,55 y 0,45 para I_1 , I_2 e I_3 , respectivamente. I_1 produjo un CGE en PL de 93,52 kg acompañado de una reducción en el PG (-0,04%) y un cambio positivo en RG (2,54,kg). Al incluir la información de RG (I_2) el CGE para PL se incrementó en 5,45 kg, pero el PG y el RG se redujeron en 0,05% y 0,77 kg. Un CGE de 68,55 kg se obtuvo al usar el I_3 , sin embargo el CGE para PG fue de 0,04% y para RG fue de 3,13 kg. Por lo que parece ser que la inclusión de características de información, como por ejemplo la producción de grasa, contribuye mucho en la buena marcha de un programa de selección.

En otro estudio, Butcher *et al.* (1967) evaluaron la respuesta genética esperada (CGE), directa (CGD) y correlacionada (CGC) al seleccionar con base a una sola característica. El CGE directo para PL fue de 328 kg, mientras que tal CGE fue de 171 kg cuando la selección fue ejercida sobre RG, 236 kg sobre RP, -300 kg sobre PG y -194 kg al ejercer selección únicamente para el PP. En tanto que los CGC fueron de 6,5 kg en RG, 7,4 kg en RP, 0,074% en PG y de -0,03% en PP. El CGD en RG fue de 7,7 kg acompañado de un CGC de 5,4 kg en RP, 0,07% en PG y de 0,01% en PP. Cuando la selección fue con base en el RP el CGD fue de 7,9 kg y CGC para RG, PG y PP fueron respectivamente de 6,6 kg, 0,001% y 0,008%. En el mismo estudio se obtuvieron CGC de 2,7 y -0,1 kg para RG y RP y de 0,07% en PP al ejercer selección sobre PG, en tanto que el CGD fue de 0,18% de grasa. Mientras que al aplicar selección sobre PP se obtuvo CGD de 0,09% y CGC de 2,4 kg, 1,7 kg y 0,12% en RG, RP y PG, respectivamente.

Butcher et al. (1967) también evaluaron diferentes alternativas de selección mediante la utilización de un índice. Los autores evaluaron un índice (I_1) considerando PL, PG y proteína-lactosa-minerales (PLM) diseñado para mejorar el rendimiento en leche y otro índice (I_2) considerando los mismos tres componentes antes mencionados, pero para mejorar el RP. El I_1 resultó en CGE de 412 kg en PL, 2,8 kg en RG, 4,8 kg en RP, -0,16% en PG y -0,07% en PP. Mientras que el I_2 resultó en CGE de 224 kg, 6,5 kg, 8,9 kg, -0,03% y 0,01% para PL, RG, RP, PG y PP, respectivamente. En este mismo estudio, los autores examinaron la posibilidad de alterar la PL sin provocar cambios en los porcentaje de los constituyentes de la leche. Para esto evaluaron un I que incluyó PL y PG (I_1), otro que consideró PL y PP (I_2) y un tercer I (I_3) que incluyó PL, PG y PP. Los respectivos CGE en PL por usar I_1 , I_2 e I_3 fueron 203, 278 y 204 kg, respectivamente. En tanto los CGE para RG y RP fueron de 7,5 y 7,3 kg al usar I_1 , 7,8 y 8,5 al usar I_2 y de 7,5 y 7,3 mediante la utilización de I_3 . Lo anterior muestra la importancia de incluir, además de las características de selección, algunas de información en el mejoramiento del genotipo lechero.

En otro trabajo, Gaunt (1973) determinó CGC de 10,60 kg, 6,20 kg, -0,04% y -0,02% en RG, RP, PG y PP, respectivamente al ejercer selección sobre PL, en tanto que el CGD fue de 275 kg. Al aplicar selección sobre RG, el CGC se incrementó en 0,20 kg, 0,10% y 0,03% en RP, PG y PP, mientras que el CGC para PL se redujo en 74 kg. Acompañando estas respuestas indirectas se vió un incremento de 5,10 kg en RP. En cambio al seleccionar para RP el CGC para PL, RG y PG fue más bajo (194 kg, 10,50 kg y 0,01% respectivamente), mientras el CGD para RP subió apenas en 0,10 kg y el CGC para PP no sufrió cambios. Por otro lado, cuando la selección fue para los porcentajes de grasa o proteína se produjo una drástica reducción en el CGE para las demás características en comparación con la selección directa. Tales cambios fueron de -130 kg en PL, 10,90 kg en RG, 1,50 kg en RP y 0,05% en PP al utilizar el PG como característica de

selección. Al considerar el PP se estimaron CGC de -105, 3,30 y 2,70 kg para PL, RG y RP respectivamente y de 0,08% para PG. Los CGD asociados fueron de 0,19% para PG y 0,08% para PP.

Van Vleck (1978) concluye que selección para PL podría resultar en una respuesta relativamente alta para RG y RP y una pequeña reducción en PG y PP, mientras que selección para RG o RP afectaría positivamente las características de rendimiento, pero reduciría ligeramente el PG y PP. El autor también señala que selección en favor de PG o PP reduciría drásticamente la PL e incrementaría ligeramente el RG y el RP.

Kennedy (1982) examinó el efecto directo y correlacionado al seleccionar en base a uno o más constituyentes lácteos. En la respuesta a la selección se consideró tanto la aportada por los sementales como la proveniente de las vacas, partiendo de la base de 50 hijas por semental y un registro por vaca. La selección con base en PL resultó en un buen incremento en todas las características de rendimiento (3,68 y 3,63 kg en RG y RP) y cierta reducción en los porcentajes (-0,19% en PG y -0,09% en PP). Cuando la selección fue aplicada sobre RG se obtuvieron CGC de 92,88 y 3,22 kg para PL y RP y 0,16 y 0,01% en PG y PP acompañado de 4,90 kg para RG. En tanto dichos cambios fueron respectivamente de 111,46 kg, 3,95 kg, -0,05% y 0,04% para PL, RG, PG y PP al efectuar selección sobre RP. Por otro lado la selección a favor de los porcentajes (PG o PP) afecta negativamente la PL (-47,62 y -40,18 kg) mientras que RG y RP se mejoran un poco (1,63 y 0,27 kg para RG y 0,45 y 0,63 kg para RP). Los anteriores reportes señalan con claridad la r_c negativa que existe entre PL y PG y PL y PP, mientras que ésta fue positiva entre rendimiento (de grasa o proteína) y sus respectivos porcentajes.

En el mismo orden de trabajos, Hardie *et al.* (1978) determinaron en ganado Guernsey, CGD de 164 kg, 2,6 kg, 7,1 kg, 0,26% y 0,10% en PL, RG, RP, PG y PP, respectivamente. Los mis-

mos estimadores de CGD en Holstein fueron de 308 kg, 17,2 kg y 0,22% para PL, RG y PG, respectivamente. Para este estudio las respuestas correlacionadas fueron de 1,30 y 5,60 kg para RG y RP al aplicar selección sobre PL, mientras que se obtuvieron CGC de -0,12 y -0,02% para PG y PP. En Holstein los CGC correspondientes fueron de 10,00 kg para RG y de -0,02% para PG, en el mismo estudio. En Guernsey, selección sobre RG o RP produjo cambios de 28 y 154 kg en PL, 3,4 kg en RG, 2,6 kg en RP, 0,03 y -0,07% en PG y de 0,03 y 0,02% en PP. Por otro lado selección para RG en Holstein resultó en CGC de 259 kg en PL y 0,11% para PG. En forma similar, selección para cualquiera de las características de porcentaje reduce drásticamente la PL. Esto varía entre -210 kg al seleccionar para PG y -54 kg al hacerlo para PP. Por otro lado, la mejoría en RG fue de 3,1 y 5,0 kg en el mismo orden. Contrario a este, selección para PG reduce en 4,3 kg el RP.

Las implicaciones económicas producto de seleccionar para una sola característica de rendimiento o composición han sido examinados en diversos trabajos (Van Vleck, 1978; Hardie et al., 1978; Mbah y Hargrove, 1982; Anderson et al., 1978). Van Vleck (1978) por ejemplo, discute las respuestas esperadas al usar un índice considerando diferentes precios de mercado concluyendo que entre mayor énfasis se le da a la PL se logra mayor CGE para ésta, así como para RG y RP. En cambio PG y PP se reducen. En este mismo estudio al enfatizar PG o PP se produjo una reducción en el progreso para PL, RG y RP e incrementó el PG y PP. Por otro lado, el énfasis sobre RG y RP da resultados similares a cuando se enfatiza PL. Si igual énfasis es dado a las características de rendimiento se obtienen aceptables progresos para las características de rendimiento con muy poca variación en porcentaje de grasa y proteína.

En base a lo anteriormente revisado parece ser que las medidas de leche, grasa y proteína en selección de ganado lechero son poco ventajosas económicamente comparado a solamente las

medidas de leche y grasa, aún cuando el pago parcial también es para proteína. En una posición poco diferente, Hardie et al. (1978) reportan mayor ingreso global al seleccionar para PL que para PG (15% como promedio). Correspondientemente, selección para características de rendimiento son económicamente preferibles a las de porcentajes. La afirmación anterior es bajo un determinado esquema de precio de mercado, porque al variar éste las conclusiones podrían ser diferentes. Por ejemplo, estos mismos autores indican que es más conveniente seleccionar para el rendimiento de proteína cuando la proteína de la leche es bonificada. Contrario a este, Anderson et al. (1978) concluyen que emplear mediciones de leche, grasa y proteína tiene una pequeña ventaja económica sobre los programas que no incluyen proteína cuando los costos de medir proteína son bajos o nulos o cuando la recompensa por proteína es muy alta. En los Cuadros 7 y 8 se resumen las respuestas directas y correlacionadas al seleccionar sobre una de las características asociadas con la producción de leche o mediante un índice de selección. De estos Cuadros se puede generalizar que la producción de leche es la característica sobre la cual debe aplicarse la selección, pero considerando distintas características de información, como por ejemplo el porcentaje de grasa.

Cuadro 7. Respuesta directa y correlacionada por generación de selección al seleccionar sobre una sola característica(i=1).

Autor	Raza	Selección	PL	RG	RP	PG	PP
Butcher <u>et al.</u> (1967)	Holstein	PL	328,00	6,50	7,4	0,074	-0,031
		RG	171,00	7,70	5,4	0,017	0,010
		RP	236,00	6,60	7,9	0,001	0,008
		PG	-300,00	2,70	-0,1	0,183	0,070
		PP	-194,00	2,40	1,7	0,120	0,090
Gaunt (1973)	Holstein	PL	275,00	10,60	6,20	-0,040	-0,020
		RG	201,00	15,70	6,40	0,060	0,010
		RP	194,00	10,50	6,50	0,010	0,010
		PG	-130,00	10,90	1,50	0,190	0,050
		PP	-105,00	3,30	2,70	0,080	0,080
Kennedy (1982)	a	PL ^b	123,85	3,68	3,63	-0,190	-0,090
		RG ^b	92,88	4,90	3,22	0,160	0,010
		RP ^b	111,46	3,95	4,00	-0,050	0,040
		PG ^b	-47,62	1,63	0,45	0,590	0,160
		PP ^b	-40,18	0,27	0,63	0,290	0,320
Hardie <u>et al.</u> (1978)	Guernsey	PL	164,00	1,30	5,60	-0,120	-0,020
		RG	28,00	2,60	2,60	0,030	0,030
		RP	154,00	3,40	7,10	-0,070	0,020
		PG	-210,00	3,10	-4,30	0,260	0,080
		PP	-54,00	5,00	3,00	0,160	0,100
	Holstein	PL	308,00	10,00	---	0,020	---
RG		259,00	17,20	---	0,110	---	
PG		-51,00	14,00	---	0,220	---	

a\ Promedio de cinco razas: Ayrshire, Guernsey, Holstein, Jersey y Pardo Suizo

b\ Unidades/año de selección

Cuadro 8. Respuestas directas y correlacionadas por generación de selección al seleccionar usando un índice de selección basado en un diferencial de selección de una desviación estándar fenotípica.

Autor	Raza	Indice	r_{IT}	PL (kg)	PG (%)	RG (kg)	PP (%)	RP (kg)
Tabler y Touchberry (1955)	Jersey ^a	PL	0,50	59,39	0,03	1,86	---	---
		PL, RG	0,55	61,29	-0,06	1,09	---	---
		RG	0,45	35,87	0,01	2,32	---	---
Tabler y Touchberry (1959)	Holstein ^a	PL	0,52	93,52	-0,04	2,54	---	---
		PL, RG	0,55	98,97	-0,09	1,77	---	---
		RG	0,45	68,55	0,04	3,13	---	---
Butcher <u>et al.</u> (1967)	Holstein	PL, PG, PLM ^a		412,00	-0,16	2,80	-0,07	4,80
		PL, PG, PLM ^b		224,00	-0,03	6,50	0,01	8,90
		PL, PG ^c		203,00	0,00	7,50	0,00	7,30
		PL, PP ^c		278,00	0,00	7,80	0,00	8,50
		PL, PG, PP ^c		204,00	0,00	7,50	0,00	7,30

a\ Mejorar PL

b\ Mejorar RP

c\ Mantenidos constantes

d\ 20% de las hembras son desechadas en base al valor del I.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL LUGAR DE TRABAJO

El presente trabajo se desarrolló utilizando los registros productivos de la finca experimental de Ganadería Tropical del CATIE. La finca experimental se encuentra localizada en el Cantón de Turrialba, Provincia de Cartago, Costa Rica a $9^{\circ} 53' 21''$ de latitud norte y $83^{\circ} 39' 40''$ de longitud oeste y a una altitud de 645 msnm. La temperatura media anual es de $21,5^{\circ}\text{C}$, con una media máxima de $26,4^{\circ}\text{C}$ y una media mínima de $18,0^{\circ}\text{C}$. La precipitación pluvial es de 2.661 mm anuales, siendo los meses de enero, febrero, marzo y abril en los que ocurre menor precipitación. En promedio, la humedad relativa es de 87,4%. Mayores detalles de las condiciones climáticas son dadas en el Cuadro 9 (Martínez, 1986).

3.2 ORIGEN DEL HATO CRIOLLO DEL CATIE

El origen del hato lechero del CATIE se remonta al año 1947. En un inicio se contó con unos pocos animales localmente denominados Maizol (Cebú costarricense) y algunas vacas Holstein y Jersey. Siete de las vaquillas Holstein fueron importadas de los Estados Unidos de América. Sin embargo, a excepción de las Maizol y Jersey adquiridas localmente, todos los demás animales no resistieron la anaplasmosis y piroplasmosis (De Alba, 1985). En este mismo año es cuando ingresan a Turrialba los primeros animales criollos, posteriormente bautizados como Criollo lechero centroamericano o Reyna. Este primer grupo consistió en 13 vacas procedentes de Nicaragua. Dos años después fueron adquiridas, siempre de Nicaragua, siete vacas y dos toros; en 1951 fueron nuevamente introducidas 20 vacas y dos sementales. Posteriormente en el año 1952 son importadas desde Honduras 33 vacas criollas. A partir de esta fecha, siguió siendo importado solamente el criollo Nicaragüense. Las

Cuadro 9. Resumen de datos agroclimáticos acumulados en diferentes años en Turrialba.

Mes	TEMPERATURA(°C)					PRECIPITACION(mm)		HUMEDAD RELATIVA	
	Promedio Max.	Min.	Media hora- ria	Absoluta Max.	Min.	Prom Mens.	Max. 24 hr	Días con 0,1mm o más	Prom. Diario Mens(%)
Enero	25,10	16,50	20,29	29,90	11,70	167,3	164,9	18,2	86,8
Febrero	25,40	16,57	20,43	30,50	11,50	138,5	247,5	15,2	86,0
Marzo	26,32	17,21	21,25	31,00	12,40	74,4	106,9	13,7	84,8
Abril	26,93	18,09	21,89	31,50	13,20	125,5	287,9	14,9	84,9
Mayo	27,63	18,85	22,46	31,60	14,20	229,8	76,4	23,2	86,7
Junio	27,27	18,94	22,23	30,40	16,20	281,7	85,5	24,8	88,6
Julio	26,58	18,58	21,80	31,50	15,10	279,9	114,9	25,3	88,8
Agosto	26,80	18,53	21,83	30,00	15,70	247,3	126,7	25,2	88,5
Septiembre	27,19	18,52	21,98	29,80	15,60	259,0	110,5	23,0	88,1
Octubre	26,96	18,51	21,88	31,00	15,00	251,3	143,5	24,2	88,5
Noviembre	25,85	18,21	21,35	32,00	13,70	277,2	150,3	22,5	89,4
Diciembre	25,19	17,10	20,54	29,00	10,60	309,7	288,3	21,1	88,4
TOTAL	317,22	215,61	257,93	368,20	164,40	2641,6	1903,3	251,3	1049,5
PROMEDIO	26,43	17,97	21,50	30,68	13,74	220,1	158,6	20,9	87,5

Observaciones en el período: Temperatura 1968-1985(18 años)
 Precipitación 1949-1985(37 años)
 Humedad Relativa 1968-1985(18 años)
 Estación Agrometeorológica Lat 9°53' N Long 83°38' O.
 Elevación: 602 msnm

FUENTE: Martinez (1986)

introducciones se efectuaron en 1955 (una vaca y un toro), en 1958 (10 vacas), en 1965 (17 vacas) y la última importación tuvo lugar en 1983 con la traída de cuatro sementales. Más detalles sobre la formación del hato criollo es dado por De Alba (1985).

3.3 DESARROLLO DEL HATO

El tipo de animales que actualmente predomina en el hato es el Criollo lechero centroamericano, Jersey y cruces de estos. Sin embargo, los grupos raciales han variado a través del tiempo (Figura 1). En un inicio se efectuaron cruces de Jersey y Pardo Suizo con Cebú (Red Sindhi, Maizol y Sahiwal). Posteriormente, a través de la utilización de sementales Pardo Suizo importados, se desarrolló un sistema de cruzamiento absorbente hacia esta raza. En 1966, para dar lugar al programa de cruzamientos entre Jersey y Criollo iniciado en 1959, todos estos animales fueron eliminados (Maltos, 1968). A principios de 1968 se comenzó a usar semen importado de la raza Ayrshire y Rojo Danés sobre vacas F1 Criollo x Jersey (Martínez, 1986). En el año 1970, son utilizados unos pocos sementales Holstein rojo.

Posteriormente en 1973 se inicia un programa de cruzamiento absorbente a través de la utilización de machos de la raza Durham. Este plan de cruzamiento concluye en mayo de 1982 cuando el objetivo primordial de la existencia del hato es retomado: conservar, multiplicar y mejorar el Criollo lechero centroamericano. De manera tal que en el hato existen diferentes grupos raciales en proporciones cada vez menores en comparación que los Criollos, Jersey y sus respectivos cruces.

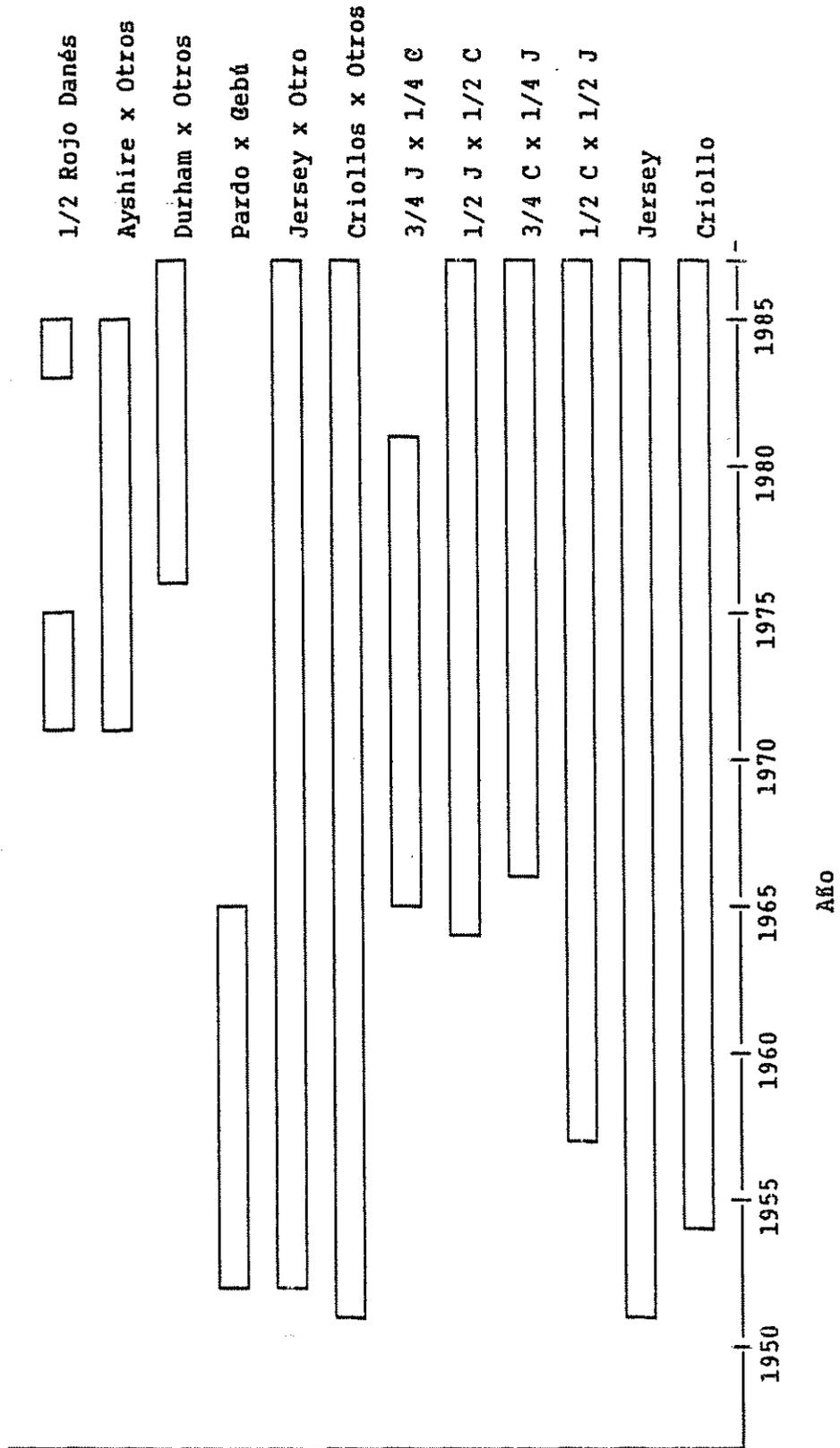


Fig 1. Distribución de los grupos raciales mantenidos en el hato lechero del CATIE durante los años 1951-1987.

3.4 MANEJO Y ALIMENTACION DE LOS ANIMALES

A excepción de las primeras etapas de crianza de terneras, la alimentación de los animales es basada exclusivamente en pastoreo en un tipo de suelo clasificado como Inceptisol Typic Distropepts (Angulo, 1980). La disponibilidad y calidad del forraje varía según el sitio, tipo de suelo y especie forrajera. En un inicio se contó con pasto Guinea (Panicum maximum), Pará (Brachiaria mutica) y diversas especies del género Paspalum. En 1954 fue introducido el pasto Pangola (Digitaria decumbens). También existían áreas sembradas con pasto Elefante (Pennisetum purpureum) y pasto Imperial (Axonopus scoparius) que se utilizaban como pasto de corte. En el año 1965 se introdujo el pasto Estrella (Cynodon nlemfluensis) en casi la totalidad de los potreros. Por lo que en la actualidad el pasto Estrella es predominante; sin embargo existen áreas dispersas de pasto natural, Guinea, Jaragua, Brachiaria y áreas mayores de pasto amargo (Paspalum conjugatum).

El sistema de manejo de los potreros se basa en pastoreo rotacional y la fertilización depende de la unidad de explotación de que se trate. La lechería consta de tres unidades de producción: prototipos intensivo (PI), demostrativo (PD) y lechería general (LG). El PI, iniciado en 1977, consta aproximadamente de 4,45 ha, a base de pasto Estrella, y se fertiliza con 250 kg de N por ha y año soportando una carga de 6,0-7,0 UA/ha dependiendo de la época del año.

El PD ocupa 12 ha de terreno cubiertos, en su mayoría, por pasto Estrella. Aunque se planeó aplicar igual cantidad de fertilizante que en el PI, esta no es aplicada en forma constante. Este prototipo fue formado en 1983 y soporta de 3,0-4,0 UA/ha. En tanto, la LG es el área más grande (58 ha) y es el que se maneja en forma más extensiva. El tipo de pasto es muy variable y no es fertilizado. Este prototipo dió origen a los otros dos

sistemas de manejo y la carga animal, comparada con los otros, es baja.

En cuanto al manejo de los animales se establece que los machos no seleccionados son eliminados a los pocos días de nacidos. El sistema de crianza de terneras es similar en todos los prototipos, las crianzas del PD y LG se desarrollan en un área común y distinta a las del PI.

Las crías hembras al momento de nacer son separadas de sus madres y alimentadas con calostro durante cinco días. El calostro es suministrado mediante chupón a razón de 4 kg/animal/día distribuidos en dos tomas. En este período son tatuados en la oreja y descornadas. Pasado el período de consumo de calostro, los animales son llevados a jaulas individuales. Permanecen en estas jaulas hasta los dos meses de edad, durante el cual son alimentados a base de leche entera a razón de 4 kg/animal/día distribuidos en 2 tomas, concentrado a libre acceso, y con acceso a seis horas diarias de pastoreo. El concentrado, común a todas las etapas, contiene 20% de proteína, 2,60 mcal de energía metabolizable por kg de alimento (estimado a partir de la composición de la dieta) y premezcla mineral, sal común y una fuente de calcio y fósforo.

La tercera etapa de crianza de terneras se desarrolla en jaulas comunales donde se le suministra pasto picado, concentrado (1 kg/animal/día) y pastorean diariamente seis horas. Una vez que alcanzan los 80 kg de peso vivo pasan exclusivamente al potrero, pero se les continúa suministrando la misma cantidad de concentrado hasta que alcanzan un peso de 150 kg, el cual lo alcanzan aproximadamente a los 14 meses de edad, pasando al grupo de novillas de reemplazo. En este período, como suplemento, se les ofrece únicamente sal común y harina de hueso una vez por mes, también aquí se lleva a cabo la marcación con hierro candente.

Hasta aquí se ha descrito el manejo que reciben actualmente las crías. Sin embargo, éste ha variado a lo largo del tiempo. La variación se ha referido básicamente a la edad o peso en que el animal deja de ingerir leche o al momento en que sale al potrero. Estos en un inicio se daba a los 120 kg y 3,5 meses de edad respectivamente. Gradualmente se fue reduciendo hasta alcanzar las condiciones ya descritas. Por otro lado, los animales son desparasitados externa e internamente en forma periódica, también se lleva a cabo un plan normal de vacunación.

Se considera que el animal está listo para el apareamiento cuando alcanza los 250 kg de peso vivo en el caso del Criollo y 240 kg para Jersey. La inseminación artificial es usada en todas las vacas y nunca la monta natural. El semen utilizado proviene de sementales puro Criollos y Jersey. A lo largo del período de estudio también ha sido utilizado semen de Pardo suizo, Ayshire, Durham, Rojo danés y Holstein rojo, como se señala anteriormente, aunque fueron pocos (Cuadro 1A). Únicamente el semen criollo es colectado y procesado en la misma finca. Las vacas, incluyendo las vaquillas, son generalmente desechadas después de cuatro servicios no aprovechados, aunque este manejo también ha variado con el tiempo. Son palpadas a los dos meses después del servicio y a los cinco meses de gestación se transfieren al grupo de vacas secas. Ocho días antes del parto son conducidas a los parideros donde permanecen hasta ser incorporadas al ordeño.

A partir del año 1962, el ordeño es mecánico, dos ordeños diarios son efectuados (3 A.M. y 3 P.M.). En la sala de ordeño cada vaca recibe 1 kg de melaza/ordeño. La producción de leche es medida cada 14 días y el muestreo para determinación de grasa y proteína es efectuado mensualmente. El ajuste a 305 días de lactancia es realizado mediante ajuste por corte. Este método consiste en que aquellas lactancias que tuvieron menos de 305 días se les puso como que hubieran lactado por dicho

tiempo y las que pasaron ese límite, se les resta de la producción total, la producción de los días que excedieron a 305. La determinación de grasa se hace según el método de Babcock, mientras que para proteína se emplea el método de titulación con formol (citados por Bateman, 1970). Las determinaciones de proteína se iniciaron en 1960, interrumpiéndose entre 1968 y 1981, a partir de 1982 se hacen en forma regular.

3.5 DESCRIPCION DE LOS DATOS

Con el fin de lograr los objetivos del presente trabajo se utilizaron los registros productivos del hato lechero del CATIE colectados entre 1951 y 1987, de los cuales se codificaron las siguientes variables:

- Identificación de la vaca
- Grupo racial de la vaca
- Fecha de nacimiento de la vaca (día, mes y año)
- Tipo de manejo (1=PI, 2=PD y 3=LG)
- Padre de la vaca
- Grupo racial del Padre de la vaca
- Madre de la vaca
- Grupo racial de la madre de la vaca
- Fecha de servicio efectivo
- Número de servicios por concepción
- Fecha de parto de la vaca
- Peso al parto
- Número de parto
- Padre de la cría
- Grupo racial del Padre de la cría
- Identificación del Padre de la cría
- Producción total de leche
- Producción de leche ajustada a 305 días (PL305)
- Largo de lactancia
- Tipo de lactancia (Cuadro 4A)
- Causa de desecho de la vaca

- % de grasa ajustada a 305 días (PG305)
- % de proteína ajustada a 305 días (PP305)

Con base a esta información, se generaron las variables edad al parto, producción de leche por kg de peso metabólico al parto de la vaca (PL/PM), producción de leche corregida a 4 % de grasa, producción de grasa (RG305) y producción de proteína (RP305). La producción de leche corregida a 4% de grasa (PLLCG) fue estimada a partir de la siguiente ecuación generada de los factores de ajuste que se usan en la lechería:

$$PLLCG = PL305 * \{1 + (PG305 - 4) * 0,15\}$$

En tanto el RG305 y el RP305 fueron obtenidas como el producto del PG305 o PP305, en decimales, y la PL305. La edad al parto varió entre dos y 15 años, aunque se tuvieron edades al parto de 16, 17, 18 y 19 años. Como estas fueron muy pocas, se adicionaron a las vacas de 15 años (Cuadro 2A). También se generó la época de parto en función de la precipitación promedio mensual, donde aquellos meses con menor precipitación (enero, febrero, marzo y abril) conformaron la época uno, los restantes constituyeron la época dos (Cuadro 9).

El presente estudio comprendió los años 1952 a 1986 para PL305, PLLCG, PG305 y RG305. En tanto para PP305 y RP305 se consideraron los períodos entre 1960 y 1967 y 1982 a 1986 inclusive. Para todas las características estudiadas, registros anteriores a 1955 fueron adicionados al año 1955 y registros del año 1987 fueron anexados a 1986 debido al número reducido de lactaciones. Además para PL/PM, los registros colectados entre 1956 y 1957 fueron adicionados al año 1958, de tal forma que el período efectivo que se consideró para PL/PM fue de 1958-1986.

Las clasificaciones de los grupos raciales estudiados son mostradas en el Cuadro 10. El grupo racial clasificado como "otros" incluye genotipos de muy baja frecuencia, como son

Maizol, Cebú, Pardo suizo, Ayrshire y Rojo Danés. En la Figura 1 puede observarse el año en que cada genotipo fue usado y así se puede generalizar sobre los genotipos que fueron contemporáneos o no.

El número de partos varió entre uno y 16 (Cuadro 3A), aunque los que fueron mayores de 11 partos se consideraron como que fueran del parto 11 por ocurrir en bajas frecuencias. Análisis preliminares mostraron una correlación de 96 % entre edad y número de parto, por lo que este último fue tomado como indicador del estado de madurez del individuo en producción.

Se codificaron en total, 4.691 lactancias correspondientes a 1.350 vacas, hijas de 217 sementales. Después de una primera evaluación se eliminaron todas aquellas lactancias provenientes de vacas cuyo grupo racial fue desconocido, 1/2 Rojo Danés, Pardo suizo x Cebú y las clasificadas como "otros". También fueron eliminadas aquellas lactancias afectadas por mastitis o experimentos, las originadas por aborto, lactancias incompletas y las provenientes de un solo ordeño. Así se eliminaron un total de 338 registros correspondiente a 7,20% del total (Cuadro 4A). Así mismo, lactancias menores de 50 días fueron eliminadas del estudio. El número de registros disponibles al comienzo del estudio y después de las restricciones pueden ser apreciadas en el Cuadro 11.

3.6 ANALISIS ESTADISTICO

Todos los análisis estadísticos realizados en el presente estudio fueron efectuados mediante el empleo del Programa de mínimos cuadrados y máxima verosimilitud, versión para computadoras personales, del Dr. Walter Harvey (Harvey, 1987).

Cuadro 10. Grupos raciales usados en el Hato lechero del CATIE durante el periodo 1951-1987.

Grupo racial	Código	Nº
Desconocido	00	48
Criollo(>3/4)	01	1.415
Jersey(>3/4)	02	679
1/2 Criollo x 1/2 Jersey(F1) ¹	03	324
3/4 Criollo x 1/4 Jersey	04	111
1/2 Jersey x 1/2 Criollo(F1) ¹	05	303
3/4 Jersey x 1/4 Criollo	06	137
Criollo x otro(<3/4 C, <1/4 J)	07	363
Jersey x otro(<3/4 J, <1/4 C)	08	318
Pardo suizo x Cebú	09	141
Durham x otros(1/2-3/4 D)	10	232
Ayshire x otros	11	453
1/2 Rojo danés x otro	16	68
Otros	13	99
TOTAL		4.691

1/ Grupo racial del semental es citado en primer término

2/ Número de registros originales

Cuadro 11. Número de registros disponibles antes (NRI) y después (NRD) de las restricciones.

Característica estudiada	NRI	NRD	DIF (%)
PL/PM	4.277	3.762	12,04
PL305	4.689	4.018	14,31
PG305	4.673	4.012	14,14
RG305	4.672	4.011	14,15
PP305	1.739	1.380	20,64
RP305	1.738	1.380	20,60

3.6.1 ANALISIS PARA REALIZAR AJUSTES PARA EFECTOS NO GENETICOS

Una vez generadas las distintas variables de interés y ajustadas a 305 días de lactancia se procedió a generar los factores de ajuste por número de parto para cada una de las características de interés.

En primer lugar se realizaron varios análisis preliminares, como primer paso se pretendió evaluar un modelo lineal mixto que conjuntamente consideró los efectos de grupo racial (GR), año de parto (AP), número de parto (NP), época de parto (EP), y las interacciones de EP con AP, GR y NP, GR con AP y NP y AP con NP. Sin embargo, este modelo no pudo ser evaluado directamente debido al número de grados de libertad involucrados y a la distribución desigual de los distintos grupos raciales a través de los años (ver Figura 1). Por lo que se realizó una sintetización a partir de diferentes modelos de la forma indicada por Harvey (1970). Como un ejemplo, en el Cuadro 5A se presenta el análisis de varianza sintetizado para PL305. Con este análisis fue evidente que la interacción entre número de parto y grupo racial de la vaca fue importante ($P < 0,05$) por lo que se generaron factores de ajuste para número de parto por cada grupo. Tales resultados fueron también corroborados graficando la producción por lactancia en cada parto de los distintos grupos raciales (Figuras 1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A y 7A).

Para las características PL/PM, PL305, PLLCG, PG305 y RG305 se crearon archivos individuales para Criollo (C), Jersey (J), F1 (CxJ o JxC), Tres cuartos ($3/4$ C ó $3/4$ J) y Otros (C x otros, J x otros, Durham x otros o Ayrshire x otros). Para PP305 y RP305 solo se generaron archivos para Criollo, Jersey y Otros (C x otros, J x otros, C x J o Durham x otros). Los demás grupos raciales estaban en muy baja frecuencia o no existían.

Usando los conjuntos de datos anteriormente descritos, se evaluó el siguiente modelo para cada grupo racial:

$$1) Y_{ijk1mn} = \mu + V_i + A_j + N_k + E_l + T_m + (A^*E)_{jl} + (N^*E)_{k1} + \varepsilon_{ijk1mn}$$

$$i=1,2,\dots,v$$

$$j=1,2,\dots,a$$

$$k=1,2,\dots,n$$

$$l=1,2,\dots,e$$

$$m=1,2,\dots,t$$

$$n=1,2,\dots,r$$

donde:

Y_{ijk1mn} = Cualquiera de las características en estudio: PL/PM, PL305, PLLCG, PG305, PP305, RG305 o RP305, todas ajustadas a 305 días de lactancia.

μ = Media general del conjunto de observaciones si existieran frecuencias iguales entre las subclases.

V_i = Efecto aleatorio de la i -ésima vaca

A_j = Efecto fijo del j -ésimo año de parto

N_k = Efecto fijo del k -ésimo número de parto

E_l = Efecto fijo de la l -ésima época de parto

T_m = Efecto fijo del m -ésimo sistema de manejo

$(A^*E)_{jl}$ = Interacción año y época de parto

$(N^*E)_{k1}$ = Interacción número y época de parto

ε_{ijk1m} = Error experimental aleatorio con media 0 y varianza σ_e^2 .

Este se manejó como un modelo fijo absorbiendo el efecto de las vacas mediante el procedimiento de máxima verosimilitud para evitar la posible confusión existente de diferencias entre registros de las vacas, años y número de partos, pues en cada año, una vaca lo mejor que hace es dejar un registro, por lo que existe dificultad en separar los efectos de vaca, año y número de parto. Pero al absorber las vacas hacia los años, ya es posible obtener estimadores no sesgados de máxima verosimilitud para el número de parto de las vacas. Estos estimadores

fueron utilizados para expresar las variables en una base de equivalente maduro. El procedimiento que se siguió fue:

$$Y_{305N_{i,j,k}(1)} = \frac{Z_{k(1)}}{X_{j,k}(1)} * Y_{305_{i,j,k}(1)}$$

donde:

$Y_{305N_{i,j,k}(1)}$: Producción ajustada a 305 días y equivalente maduro de la vaca i en el j -ésimo parto correspondiente a la característica k en el l -ésimo grupo racial.

$Z_{k(1)}$: Media de mínimos cuadrados base del ajuste para la característica k en el l -ésimo grupo racial.

$X_{j,k}(1)$: Media de mínimos cuadrados para el número de parto j de la característica k en el grupo racial l .

$Y_{305_{i,j,k}(1)}$: Producción ajustada a 305 días de la i -ésima vaca en el j -ésimo parto correspondiente al l -ésimo grupo racial y a la característica k .

Medias de mínimos cuadrados y los factores de ajuste correspondientes al número de parto generados por este análisis son mostrados en los Cuadros 6A, 7A, 8A, 9A, 10A, 11A y 12A.

3.6.2 ANALISIS GENETICO PARA PL/PM, PL305, PLLCG, PG305, PP305, RG305 Y RP305.

Una vez que las variables de interés fueron llevadas a una base de equivalente maduro se procedió a la estimación de los distintos parámetros genéticos (índice de constancia, índice de herencia y correlaciones genéticas).

3.6.2.1 ESTIMACION DEL INDICE DE CONSTANCIA PARA PL/PM, PL305, PLLCG, PG305, PP305, RG305 Y RP305.

El índice de constancia o repetibilidad (r) fue estimado para cada una de las variables en estudio. Para la estimación de r cada característica fue expresada como una desviación del

promedio de producción del año en que se inició la lactancia. Este procedimiento fue necesario dado las particularidades en la utilización de los sementales a través de los años y también para evitar el posible problema que se puede generar por falta de contemporaneidad de las vacas o lactancias (Figura 1). Además, en el Cuadro 12 se puede observar que un alto porcentaje de los sementales fueron usados en tan solo un año, por lo que confusión año-semental parece probable.

Una vez establecidas las desviaciones se consideró el siguiente modelo mixto (modelo 2) que se empleó para generar estimadores de parámetros genéticos.

$$\text{Modelo 2: } Y_{ijklmnp} = \mu + G_i + S_{j(i)} + V_{k(i,j)} + E_l + T_m + \epsilon_{ijklmnp}$$

$$i=1,2,\dots,g$$

$$j=1,2,\dots,s_i$$

$$k=1,2,\dots,v(i,j)$$

$$l=1,2,\dots,e$$

$$m=1,2,\dots,t$$

$$n=1,2,\dots,r$$

donde:

$Y_{ijklmnp}$ = Cualquiera de las características en estudio (PL/PM, PL305, PLLCG, PG305, RG305, PP305, RP305) ajustadas por largo de lactancia, equivalente maduro y expresadas como desviación del año de parto

μ = Media general del conjunto de observaciones si existieran frecuencias iguales entre las subclases.

G_i = Efecto fijo del i-ésimo grupo racial

$S_{j(i)}$ = Efecto aleatorio del j-ésimo semental dentro de grupo racial.

$V_{k(i,j)}$ = Efecto aleatorio de la k-ésima vaca dentro de semental y grupo racial.

E_l = Efecto fijo de la l-ésima época de parto

T_m = Efecto fijo del m-ésimo sistema de manejo

$\epsilon_{ijklmnp}$ = Error experimental aleatorio con media 0 y varianza σ_e^2 .

El análisis de varianza correspondiente al modelo 2 se muestra, en forma general, en el Cuadro 13. Las interacciones no fueron incluidas, por no considerarlas importantes. La estimación de r se realizó mediante el empleo de la siguiente fórmula utilizando los componentes de varianza señalados en el Cuadro 13A. La fórmula empleada para estimar r fue:

$$r = \frac{\sigma_e^2 + \sigma_{v/s}^2}{\sigma_e^2 + \sigma_{v/s}^2 + \sigma_a^2} = \frac{\sigma_e^2 + \sigma_{v/s}^2}{\sigma_r^2} \quad (\text{Becker, 1984})$$

Además el error estándar de r se estimó utilizando la fórmula (Becker, 1984)

$$\sigma_r = \left[\frac{2(m-1)(1-r)^2[1+(K_1-1)r]^2}{K_1^2(m-N)(N-1)} \right]^{1/2}$$

donde r es el índice de constancia, m es el número de lactancias, K_1 es el coeficiente del componente de varianza asociado con las vacas y N es el número de vacas.

3.6.2.2 ESTIMACION DEL INDICE DE HERENCIA PARA PL/PM, PL305, PLLCG, PG305, PP305, RG305 Y RP305.

El índice de herencia para cada característica estudiada fue obtenido a través de regresión madre-hija, con excepción del de proteína, el que fue estimado a partir del modelo 2. Esto se debió al número reducido de pares madre-hija que hacían pocos confiables los estimadores de h^2 . Dos veces esta regresión estima el índice de herencia. Este procedimiento parece menos sensible que la correlación intraclase (Harvey y Lush, 1952) sobre todo cuando la procedencia de los sementales es desconocida, como fue el caso en el hato lechero del CATIE en algunos años, o los sementales no fueron solo usados para producir crías de su propio genotipo (se habían utilizado en cruces), o bien el hecho de que gran parte de los sementales fueron usados solo un año (Cuadro 12). Además de esto, como en

Cuadro 12. Clasificación de los sementales del Hato lechero del CATIE según los años de uso.

AÑO EN USO	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa %	Frecuencia relativa acumulada (%)
1	103	47	47
2	58	27	74
3	29	13	88
4	17	8	95
5*	10	5	100
TOTAL	217	100	

* Cinco o más años de uso

Cuadro 13. Análisis de varianza y componentes de varianza para estimar el índice de constancia (r) para las características estudiadas (Modelo 2).

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Esperanza de los cuadrados medios
Grupo racial (GR)	$g-1$	CM(GR)	Irrelevante
Padre:GR (PG)	$\Sigma(p_{1j}-1)$	CM(P:G)	$\sigma_e^2 + K_2\sigma_v^2 + K_3\sigma_p^2$
Vaca:PG (V:PG)	$\Sigma\Sigma(v_{1jk}-1)$	CM(V:PG)	$\sigma_e^2 + K_1\sigma_v^2$
Epoca	1	CM(E)	Irrelevante
Manejo	2	CM(M)	Irrelevante
Error	$\Sigma\Sigma\Sigma(n_{1jkmn}-1)$	CM(Error)	σ_e^2

estos años hubo selección en el hato lechero del CATIE, la que fue más enfatizado en los sementales que en las hembras. Bajo estas circunstancias, la h^2 es mejor estimada mediante regresión madre-hija.

En la estimación del h^2 solamente se consideraron registros de primeras lactancias, pareando todas las hijas de una vaca con el primer registro de ésta. Esto se hizo para evitar que algunos componentes ambientales introduzcan un sesgo en la estimación de h^2 , así como para manejar información que se exprese en el mismo ciclo de vida de las vacas. En la obtención del coeficiente de regresión se empleó el siguiente modelo (Modelo 3):

$$\text{Modelo 3: } Y_{ijklmn} = \alpha + A_i + E_j + T_k + R_l + \beta(X-X..) + \epsilon_{ijklmn}$$

Donde:

Y_{ijklmn} = Valor observado para cualquiera de las características estudiadas (PL305, PL/PM, PLLCG, RG305, PG305) en la n-ésima hija, ajustado por largo de lactancia.

α = Media general del conjunto de observaciones cuando $X-X..$ es igual a cero.

A_i = Efecto fijo del i-ésimo año de parto

E_j = Efecto fijo de la j-ésima época

T_k = Efecto fijo del k-ésimo tipo de manejo

R_l = Efecto fijo del l-ésimo grupo racial de la hija

$(X-X..)$ = Producción de la madre, ajustado por largo de lactancia y expresado como desviación del año de parto.

β = Coeficiente de regresión parcial de la producción de la hija sobre la madre.

ϵ_{ijklmn} = Error aleatorio con media 0 y varianza σ^2

En base al modelo anterior $h^2 = 2\beta_{yx}$. El error estándar de h^2 fue estimado como el doble del error del coeficiente de regresión.

3.6.2.3 ESTIMACION DE CORRELACIONES GENETICAS ENTRE LAS CARACTERISTICAS EN ESTUDIO.

Usando un modelo similar al modelo 3 se obtuvieron las covarianzas cruzadas y las correspondientes varianzas, para estimar las respectivas correlaciones genéticas (r_g) entre las características consideradas en el presente estudio. Las r_g fueron estimadas de la siguiente manera:

$$r_g = \frac{\text{Cov}(Y_H, X_M) + \text{Cov}(Y_M, X_H)}{2[\text{Cov}(Y_H, Y_M) * \text{Cov}(X_H, X_M)]^{1/2}} \quad (\text{Hazel, 1943})$$

En la expresión anterior $\text{Cov}(Y_H, X_M)$ es la covarianza entre la característica Y en la hija y la característica X en la madre; $\text{Cov}(Y_M, X_H)$ es la covarianza entre Y observada en la madre y X en la hija; $\text{Cov}(Y_H, Y_M)$ y $\text{Cov}(X_H, X_M)$ es la mitad de la varianza genética aditiva para X y Y.

El error estándar (σ_{r_g}) de esta correlación fue estimado empleando la expresión sugerida por Reeve (1955):

$$\sigma_{r_g} = \left\{ \frac{1}{n} \left[\frac{1}{2} (1 - r_g^2)^2 + \frac{2(1 - r_g^2)(1 - r_F^2)}{C^2} + 4(r_g/D - r_F/C)^2 \right] \right\}^{1/2}$$

Donde

$$C = h_1^2 * h_2^2$$

$$1/D = 1/2(1/h_1^2 + 1/h_2^2)$$

r_F = Correlación fenotípica y n es el número de pares madre-hija.

Lo anterior fue necesario realizarlo para poder proponer algunos índices de selección y sus respectivas evaluaciones para la lechería del CATIE.

3.6.2.4 INDICE DE SELECCION

El problema principal en mejoramiento animal es escoger aquellos animales con mayor valor genético, como reproductores de la siguiente generación. El fenotipo de un animal está conformado por un componente genético y otro ambiental (Falconer, 1970), los que pueden o no pueden actuar independientemente. Ante ésta situación la tarea es como hacer que lo fenotípico se asemeje más a lo genotípico o dicho de otro modo, como maximizar la correlación entre el genotipo y el fenotipo ($r_{\tau\tau}$). De esta manera, el adelanto genético por unidad de tiempo (CH) es acelerado, lo mismo ocurre también cuando se evalúan los animales mediante un índice (I). Este concepto todavía vigente fue primero propuesto por Smith (1936) y luego por Hazel y Lush (1942) y Hazel (1943). El I se define como:

$$I = \sum b_i X_i \quad (4)$$

Donde las X's se refieren al fenotipo de cada una de las características de importancia económica y los factores de ponderación (b_i) son estimados de tal forma que el I sea el mejor indicador del valor genético del animal o sea $r_{\tau\tau}$ es maximizado.

Para determinar los b's asociados con cada característica (X), primero se define el valor genético total o agregado para cada animal. Este valor es la suma de los valores genotípicos aditivos para cada característica ponderado por los pesos económicos. Esto es:

$$H = a_1 g_1 + a_2 g_2 + a_3 g_3$$

donde g_i es el valor genotípico de la característica X_i y a_i es el peso económico del mismo. El objetivo es encontrar los b's de modo que maximice el CH a través de la maximización de $r_{\tau\tau}$. El procedimiento de maximización está detalladamente explicado por Van Vleck (1979) y por Turner y Young (1969).

Las ecuaciones normales simultáneas que permiten maximizar el CH son (Hazel, 1943):

$$\begin{aligned}
 b_1V(X_1) &+ b_2\text{Cov}(X_1, X_2) + b_3\text{Cov}(X_1, X_3) = \text{Cov}(X_1, T) \\
 b_1\text{Cov}(X_1, X_2) + b_2V(X_2) &+ b_3\text{Cov}(X_2, X_3) = \text{Cov}(X_2, T) \quad (5) \\
 b_1\text{Cov}(X_1, X_3) + b_2\text{Cov}(X_2, X_3) + b_3V(X_3) &= \text{Cov}(X_3, T)
 \end{aligned}$$

Las ecuaciones en (5) realmente constituyen la matriz fenotípica, vector de los factores de ponderación y la matriz genética y esto expresado en forma matricial es $F\beta = Ga$.

3.6.2.4.1 INDICE DE SELECCION PARA MEJORAR UNA CARACTERISTICA

En el presente estudio, tres alternativas de selección fueron evaluadas para el mejoramiento genético de una característica.

La primera alternativa consideró únicamente información de la característica a mejorar, por ejemplo PL305 o PL/PM, procedente del individuo. La expresión (4), para este caso, es entonces:

$$I_k = b_1X_1 = h^2X_1$$

donde I_k se refiere al valor del I para el individuo k, b_1 es el factor de ponderación para el fenotipo de la característica i en el individuo k (X_1).

La segunda alternativa consideró, además de la característica a mejorar (de selección), otras características medidas en el mismo individuo (de información). En particular

$$I_k = b_1X + \sum b_j Y_j$$

donde X es el fenotipo de la característica a mejorar y Y es el fenotipo de la(s) característica(s) que sirven como fuente de información. La solución para los b's es obtenida según las

ecuaciones normales (5). En este caso la ponderación económica es solo para la característica a mejorar (X). El cuadro 14A muestra un ejemplo de como se obtuvo las ponderaciones y respuestas genéticas en cada característica considerada en este tipo de índice.

La tercer alternativa analizada para mejorar el genotipo de una característica fue a través de un I que incluyó información de la característica en el individuo (X) y en sus medias hermanas paternas (MHP) o su madre (M). A partir de la ecuación (4) se tiene:

$$I_{\alpha} = b_1(X) + b_2(MHP) + b_3(M)$$

Para construir este último es necesario considerar tres elementos en el establecimiento del sistema de ecuaciones según Ronningen y Van Vleck (1985). Estos son:

a) Elementos sobre la diagonal

$$\sigma_{i,j}^2 = \left[\frac{(1+(n-1)r)/n + a_{i,j}h^2(p-1)}{p} \right] \sigma_{\alpha}^2$$

donde r se refiere al índice de constancia, n es el número de registros por individuo dentro de familia, p es el número de miembros por familia y $a_{i,j}$ es el parentesco entre grupos de familia.

b) Elementos fuera de la diagonal

$$\text{Cov}(X_i, X_j) = a_{i,j} \sigma_{\alpha}^2$$

c) Miembros del lado derecho

$$\text{Cov}(X_i, T) = a_{i,\alpha} \sigma_{\alpha}^2 = a_{i,\alpha} h \sigma_{\alpha}^2$$

Donde $a_{i,\alpha}$ es la relación genética aditiva entre el individuo α que se está evaluando y el pariente i del α que está proporcionando la información para la elaboración del I.

La evaluación del modelo de selección se hizo simulando distinto número de registros por grupo familiar, así como distinto número de medias hermanas paternas.

En cualquiera de las alternativas la respuesta directa (CGD) y correlacionada (CGC) fue obtenida siguiendo el procedimiento sugerido por Van Vleck, (1979) y Ronningen y Van Vleck (1985).

$$CGD = D\sigma_I$$

$$\sigma_I = [Eb_1^2\sigma_{x_1}^2 + n(n-1)b_1b_2Cov(X_1X_2)]^{1/2}$$

$$CGC_2 = \frac{Cov(G_2, I)}{\sigma_I}$$

Donde D es la intensidad de selección y σ_I es la raíz cuadrada de la varianza del índice.

3.6.2.4.2 INDICE DE SELECCION PARA MEJORAR DOS O MAS CARACTERISTICAS.

Este modelo de índice de selección consideró el mejoramiento simultáneo de más de una característica. Este tipo de índice básicamente depende de h^2 , r_g , var-covarianzas fenotípicas y los respectivos valores económicos de cada característica (Ronningen y Van Vleck, 1985). Los valores económicos definidos como el peso relativo que se le asigna a cada característica a mejorar, fueron obtenidos según la ponderación que las lecherías de Costa Rica dan al % de grasa de la leche. El precio de un lt de leche con 3% de grasa es de 17,80 unidades, mientras que el mismo lt de leche con 4% de grasa tiene una recompensa de 18,80, por lo tanto la relación leche:grasa es de 19:1. Sin embargo, es importante señalar que en la mayoría de los países de América Central el precio de la leche es establecido en base de simplemente el volumen de leche vendible, aunque algunos países han empezado a establecer precios en base al contenido de grasa. Es por esto que se hizo en este

trabajo un índice para PL305 y PG305 considerando diversos esquemas de precio de mercado cercanos a la cifra dada anteriormente. El índice en forma general, sería:

$$I = \sum_{i=1}^3 b_i X_i$$

La solución para los b's se obtiene según el sistema de ecuaciones normales establecidos anteriormente (5). Los cambios genéticos directos y correlacionados son obtenidos mediante las expresiones de Van Vleck (1979), citadas anteriormente.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

En el presente trabajo fueron estudiadas la producción de leche ajustada a 305 días y equivalente maduro (PL305), PL305 corregida por grasa (PLLCG), PL305 por kg de peso metabólico al parto de la vaca (PL/PM), producción total y % de grasa (RG305 y PG305) y producción y % de proteína (RP305, PP305) en el hato lechero del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. A continuación se presentarán los resultados obtenidos y la discusión de relevancia en torno a estos.

4.1 INDICE DE CONSTANCIA O REPETIBILIDAD.

Los factores genéticos considerados en el presente estudio incluyen los de grupo racial de la vaca (Cuadro 10), padre dentro de grupo racial y vaca anidada en padre y grupo racial (Modelo 2). El Cuadro 14 muestra el análisis de varianza de mínimos cuadrados obtenido para cada característica estudiada. En este Cuadro puede observarse que la variabilidad entre padres y vacas dentro de padres constituyeron fuentes importantes de variación en todas las características, al igual que el efecto de grupo racial.

Medias de mínimos cuadrados y error estándar para características individuales en cada grupo racial después de ajustar por número de parto son mostradas en el Cuadro 15. Medias y errores estándar fueron derivados a partir de un análisis en el cual los efectos de grupo racial, padre, vaca, manejo, año y época de parto fueron incluidos en el modelo. En este Cuadro se puede apreciar la superioridad de los genotipos cruzados, particularmente del F_1 , lo cual sugiere diferencias genéticas entre los grupos raciales para la mayoría de las características estudiadas. Los individuos media sangre (F_1) tienen la mayor producción de leche seguido por los animales 3/4, Jersey y por último los Criollos. El valor de heterosis para PL305 es de 24%

Cuadro 14. Análisis de varianza de mínimos cuadrados para PL305, PLLCG, PL/PH, RG305, RP305, PG305 y PP305 en el hato lechero del CATIE (Modelo 2).

Fuente de variación	PL305		PLLCG		PL/PH		RG305		RP305		PG305		PP305	
	GL	CM	GL	CM	GL	CM	GL	CM	GL	CM	GL	CM	GL	CM
Grupo racial(GR) ¹	9	24.159.761,49	9	26.994.704,91	9	5.286,34	9	48.433,36	5	14.320,60	9	5,72	5	0,0055
Padre:GR(PGR) ²	327	1.085.500,40	327	1.175.491,06	318	150,91	327	2.087,12	148	817,54	327	0,47	148	0,0015
Vaca:PGR	842	772.135,42	837	868.510,08	794	106,01	837	1.545,76	373	616,23	837	0,31	373	0,0012
Manejo	2	1.094.850,80	2	935.651,01	2	110,98	2	1.625,19	2	170,36	2	0,20	2	0,0021
Epoca	1	1.865.096,44	1	2.668.074,44	1	601,92	1	4.753,22	1	28,40	1	0,22	1	0,0032
Error	2.836	195.960,12	2.834	229.470,17	2.637	29,15	2.834	422,51	850	152,75	2.835	0,10	850	0,0008

1/ Todos los efectos incluidos son estadísticamente significativos($P < 0,05$) para todas las características

2/ La prueba es aproximada, puesto que $K_1 \neq K_2$.

cuando se consideran los F_1 y de 18% al comparar la producción de los individuos $3/4$ con el promedio de las Jerseys y Criollos. En cuanto a % y producción de grasa las vacas Criollo x Jersey (F_1) tuvieron mayor producción, al igual que en producción de proteína. Sin embargo, las Jerseys tuvieron más alto rendimiento en % de proteína. Los valores de heterosis aquí señalados son comparables con los reportados por De Alba y Kennedy (1985). Vale la pena señalar que este resultado se reporta aquí como información transitoria y no como resultado principal del trabajo, pues los objetivos de este estudio son los que se señalaron anteriormente. Lo anterior, de cualquier forma viene a confirmar las notables ventajas de usar genotipos criollos en sistemas de cruzamiento planificados y dirigidos, particularmente por la sostenibilidad de la producción provocada por este tipo de animales (ver Figuras 1A-7A).

Utilizando el modelo 2 se generaron los componentes de varianza asociados a los padres de las vacas y a las vacas mismas (Cuadro 13A). Estos componentes se emplearon en las estimaciones de r , como fue señalado en la sección de materiales y métodos del presente trabajo.

Los estimadores de r para las características consideradas en el presente trabajo son mostradas en el Cuadro 16. El índice de constancia para las características de rendimiento fue de $0,50 \pm 0,02$ para PL305, $0,48 \pm 0,02$ para PLLCG y $0,48 \pm 0,02$ para PL/PM. En tanto que para RG305 y RP305 los estimadores fueron del orden de $0,47 \pm 0,02$ y $0,57 \pm 0,03$, respectivamente. La repetibilidad de las distintas características de rendimiento fueron de magnitud muy similar. Sobre esta base, un valor estimado para cualquiera de los rendimientos, podría indicar el índice de constancia de cualquiera de las otras características.

Estimadores de índice de constancia para PL/PM son prácticamente inexistentes en la literatura, por lo que no es posible hacer comparaciones entre los resultados obtenidos, pero sí es importante notar la similitud de este valor con los demás r , para características representativas del volumen de leche (PL305, PLLCG). Por otro lado, comparando los valores de r para características de rendimiento con algunos estimadores dados en distintos trabajos se puede observar que estos son similares a algunos o son ligeramente superiores o inferiores a los reportados en otros estudios. Por ejemplo, Rodríguez *et al.* (1976), Peroz *et al.* (1974) y McDowell *et al.* (1976) encontraron un r de $0,47 \pm 0,01$, $0,46$ y $0,45$ respectivamente para producción de leche, los cuales son muy similares al obtenido en este estudio. Román *et al.* (1976), Negrón *et al.* (1976), Bodisco *et al.* (1971) y Verde *et al.* (1970) determinaron índices de constancia inferiores al estimado en este estudio y fueron $0,38$, $0,32 \pm 0,03$, $0,32 \pm 0,04$ y $0,32$, respectivamente. De Alba y Kennedy (1985) encontraron un estimador de r superior al 50 % en un conjunto de datos muy similares al estudiado aquí. Sin embargo, estos autores no consideraron algunos efectos como manejo y época en el modelo que emplearon, así como la interacción de grupo racial con número de parto. El efecto de este último fue considerado por De Alba y Kennedy (1985) sin importancia cuando en el presente estudio resultó ser significativamente diferente de cero (Cuadro 5A).

Valores de r para RG305 y RP305 son muy escasos en América Latina por lo que la comparación se hará con estimadores procedentes de otras latitudes. Butcher *et al.* (1967) encontraron un r de $0,48 \pm 0,02$ y $0,52 \pm 0,02$ para producción de grasa y proteína, respectivamente, los cuales están muy cercanos a los obtenidos aquí. Gaunt *et al.* (1968) dan resultados muy similares ($0,51$ para grasa y $0,55$ para producción de proteína). En tanto, Gacula *et al.* (1968) encontraron valores de r entre $0,31$ y $0,47$ para grasa según el grupo racial y de $0,34$ a $0,48$ para proteína. En las áreas tropicales han sido reportados pocos esti-

madores de r para producción de grasa. Por ejemplo, Rodríguez et al. (1976) determinaron un r de $0,40 \pm 0,01$ y Peroz et al. (1974) reportaron un valor de $0,35$, los cuales son bastante inferiores al obtenido en este estudio.

Los valores de r para PG305 y PP305, en el presente estudio, fueron de $0,43 \pm 0,02$ y $0,21 \pm 0,03$, respectivamente. Estos están por debajo de los indicados en la literatura para zonas templadas. Por ejemplo, los estimadores de r para % de grasa en el estudio realizado por Gacula et al. (1968) varió entre $0,56$ y $0,76$, según el grupo racial y entre $0,57$ y $0,69$ para % de proteína. En tanto Mather et al. (1969) encontró un r de $0,77 \pm 0,01$ para % de grasa y de $0,59 \pm 0,02$ para % de proteína. Valores de $0,63 \pm 0,01$ y $0,61 \pm 0,02$ fueron dados por Butcher et al. (1967), para % de grasa y proteína respectivamente.

Los valores determinados en este trabajo también son bastante inferiores a los encontrados por Gaunt et al. (1968) ($0,76$ para % de grasa y $0,66$ para proteína) y a los de Hardie et al. (1978) ($0,70$ para % de grasa y $0,33$ para % de proteína). Los resultados en los trópicos parecen muy variables, por ejemplo Rodríguez et al. (1976) determinaron un índice de constancia de $0,44 \pm 0,01$ para % de grasa. En general, los valores de r encontrados aquí, bajo condiciones tropicales, parecen ser inferiores a los reportados en climas templados, esto posiblemente se deba a la mayor variación fenotípica de los animales, así como del ambiente mismo o la forma de estimarlos.

4.2 INDICE DE HERENCIA O HEREDABILIDAD.

El índice de herencia en el presente estudio se obtuvo a partir de análisis de regresión madre-hija, excepto para proteína (RP305 y PP305) que fueron estimados a partir de las correlaciones entre medios hermanos paternos (Modelo 2). Valores de índice de herencia para las distintas características estudiadas son presentadas en el Cuadro 16.

Cuadro 15. Medias de mínimos cuadrados y su error estándar por grupo racial, después de ajustar por número de parto, para cada una de las características estudiadas.

Grupo racial	Criollo(C)	Jersey(J)	C x J(F ₁)	3/4
<u>CARACT.</u>				
PL305	1.835,87±62,15	2.125,27±66,85	2,448.98±89,08	2.351,58±107,76
PL/PM	20,89±0,78	28,79±0,84	27,58±1,05	24,49±1,29
RG305	84,73±2,82	95,92±3,01	114,08±4,06	102,98±4,92
RP305	55,63±3,95	69,42±3,77	---	---
PG305	4,56±0,05	4,52±0,05	4,77±0,07	4,62±0,08
PP305	3,38±0,06	3,43±0,08	---	---

Cuadro 16. Indices de constancia(r) y de herencia(h²) con sus respectivos errores estándar para las distintas características estudiadas.

Caract.	N	r±ee	N	h ² ±ee
PL305 ✓	4.018	0,50±0,02	830	0,27±0,09
PLLCG	4.011	0,48±0,02	826	0,18±0,09
PL/PM	3.762	0,48±0,02	731	0,29±0,10
RG305 ✓	4.011	0,47±0,02	827	0,12±0,08
RP305 ✓	1.380	0,57±0,03	1.380	0,29±0,10 ¹
PG305	4.012	0,43±0,02	827	0,33±0,08
PP305	1.380	0,21±0,03	1.380	0,14±0,08 ¹

1/ Estimado a partir de familias de medios hermanas paternas (Modelo 2).

Los valores de h^2 para PL305, PLLCG y PL/PM fueron $0,27 \pm 0,09$, $0,18 \pm 0,09$ y $0,29 \pm 0,10$ respectivamente, sugiriendo la existencia de varianza genética aditiva para estas características, bajo condiciones tropicales, para que se pueda ejercer selección. El estimador de h^2 para PL305 es similar a los reportados por Lobo et al. (1979) en Brasil, Negrón et al. (1976) en Costa Rica, Salgado et al. (1986) en México y Peroz et al. (1974) en Guatemala. También es similar al reportado por Nuñez et al. (1983) en México, aunque éste fue bajo condiciones ambientales diferentes del trópico. Sin embargo, la h^2 para PL305 encontrada en el presente trabajo es inferior a los encontrados por Adkinson et al. (1974), Vaccaro et al. (1979), Verde et al. (1970) y Schneeberger (1982), los cuales reportan valores que van desde 0,21 hasta 0,49; pero es superior a los reportados por Abubakar et al. (1986), Bodisco et al. (1971), Bodisco (1976) y Morales (1972), quienes reportaron valores que oscilan entre 0,07 y 0,24. Estas discrepancias pueden deberse a diferencias en la manera como se estimaron y a la población y condiciones ambientales en que se generaron.

Para RG305 se obtuvo un h^2 de $0,12 \pm 0,08$, el cual es inferior a diversos valores obtenidos en los trópicos. Por ejemplo, Adkinson et al. (1974) en Ecuador reportaron un valor de $0,48 \pm 0,03$, Peroz et al. (1974) en Guatemala encontraron un valor de 0,40 y Vaccaro et al. (1979) en Perú reportaron un índice de herencia de $0,56 \pm 0,30$. Sin embargo el resultado del presente estudio está dentro del rango de estimadores de las áreas templadas que va desde $0,03 \pm 0,19$ hasta $0,45 \pm 0,22$ (Tong et al., 1979; Seykora y McDaniel, 1983; Hardie et al., 1978; Gacula et al., 1968; Hargrove et al., 1981; Jager y Kennedy, 1987). Los estimadores de h^2 para RG305 reportados en el trópico fueron obtenidos a través de correlaciones entre medios hermanos paternos, mientras que en el presente estudio fue obtenido a través de regresión madre-hija.

Indices de herencia para producción de proteína de 0,25, 0,22±0,07 y 0,31 han sido encontrados por Hardie et al. (1978), Hargrove et al. (1981) y Jager y Kennedy (1987) respectivamente, los cuales están muy cercanos al encontrado en el presente estudio (0,29±0,10). Sin embargo, también se encuentran en la literatura h^2 para RP305 inferiores al del presente trabajo (Tong et al., 1979; Wunder y McGilliard, 1964), mientras que Gacula et al. (1968) encontraron valores superiores al 0,29 del presente estudio.

Los estimadores del índice de herencia para PG305 y PP305 fueron de 0,33±0,08 y 0,14±0,08, respectivamente. El valor de 0,33 para % de grasa es inferior al 0,68±0,03 estimado por Adkinson et al. (1974) en ganado Holstein, en Ecuador, pero similar al reportado por Magofke (1964) en ganado Criollo en Costa Rica (0,36±0,18). Estimadores de h^2 para % de grasa en las áreas de clima templado van desde 0,02±0,14 (Gacula et al., 1968) hasta 0,77±0,15 (Hermas et al., 1987), en este intervalo también se encuentra lo reportado en el presente trabajo. Valores similares a éste fueron reportados por Tong et al. (1979) con Holstein en Canadá (0,35), pero inferior a los encontrados por Hardie et al. (1978) en Holstein y Guernsey (0,64 y 0,60), Hargrove et al. (1981) en Holstein (0,71±0,09), Hermas et al. (1987) en Guernsey (0,77±0,15) y al encontrado por Jager y Kennedy (1987) con ganado Holstein en Canadá (0,69). El estimador de índice de herencia para % de proteína encontrado en el presente trabajo (0,14) es inferior a todos los estimadores publicados, excepto al encontrado por Wunder y McGilliard (1964). La discrepancia en este sentido puede ser que la selección de sementales, aunque no fue directamente para proteína, tenga un efecto negativo sobre la h^2 de esta característica. Pues, como se dijo anteriormente la h^2 para PP305 fue estimada a través de la correlación entre medios hermanos paternos. Anteriormente también se señalaron las razones por las cuales puede ser inconveniente estimar h^2 a través de esta técnica

para el caso de la lechería del CATIE. Es factible que esto ha tenido posibilidad de reducir h^2 para PP305.

En general, es evidente que en base a los resultados obtenidos en este estudio, al igual que aquellos citados, la selección para producción de leche y sus constituyentes podría ser realizada por el método de selección individual, en forma directa.

4.3 CORRELACIONES GENÉTICAS Y FENOTÍPICAS

Las correlaciones genéticas entre las características estudiadas en el presente trabajo fueron obtenidas a partir de análisis de pares madre-hija como fue descrito en la sección de materiales y métodos. El Cuadro 18 muestra las var-covarianzas y correlaciones genéticas entre las características consideradas en este estudio. En tanto el Cuadro 17 presenta las respectivas var-covarianzas y correlaciones fenotípicas para las mismas características.

Las correlaciones fenotípicas (r_F) entre las características de rendimiento fueron altas y positivas. Estos valores variaron entre 0,82 para RP305 y PL/PM y 0,99 para PLLCG y RG305 (Cuadro 17). Las correlaciones entre PL305 y PG305 y PL305 y PP305 fueron negativas, de -0,07 y -0,05, respectivamente. Mientras que las r_F entre PLLCG y las características de porcentajes (PG305 y PP305) fueron bajas pero positivas (0,11 y 0,01, respectivamente); en tanto r_F de estas mismas características con PL/PM fueron también bajas, pero negativas (-0,08 y -0,06, respectivamente). Asimismo, las correlaciones fenotípicas entre RG305 y PP305 y entre RP305 y PP305 fueron respectivamente 0,04 y 0,22. En tanto que la r_F entre rendimiento y % de grasa fue positiva (0,22), la r_F entre RP305 y PG305 fue negativa, pero cercana a cero. Las asociaciones fenotípicas entre la producción de grasa y proteína, ambas expresadas como porcentaje, fueron positivas. En general, del Cuadro 17 se puede

Cuadro 17. Varianzas, covarianzas y correlaciones fenotípicas entre las distintas características estudiadas (Modelo 2).

CARACT	PL/PM	PL305	PLLCG	RG305	RP305	PG305	PP305
PL/PM	56,36 ¹	4.365,09 ²	4,52	183,88	103,23	-0,2408	-0,0124
PL305	0,94	393.771,65	402,88	16.478,82	9.137,74	-17,8600	-0,8303
PLLCG	0,91	0,97	444.817,48	18,38	9,62	0,0293	0,0002
RG305	0,88	0,94	0,99	801,18	408,98	2,5000	0,0330
RP305	0,82	0,85	0,84	0,82	355,97	-0,2409	0,1337
PG305	-0,08	-0,07	0,11	0,22	-0,03	0,1778	0,0037
PP305	-0,06	-0,05	0,01	0,04	0,22	0,2900	0,0010

1/ Elementos sobre la diagonal son varianzas, arriba son covarianzas y debajo de la diagonal son correlaciones fenotípicas.

Cuadro 18. Var-covarianzas y correlaciones genéticas entre las distintas características estudiadas.

CARACT	PL/PM	PL305	PLLCG	RG305	RP305	PG305	PP305
PL/PM	16,34 ¹	1.370,95	1.189,72	41,62	23,41	-0,2448	-0,0378
PL305	1,05±0,02	106.318,34	89.495,87	3.133,18	2.120,26	-23,6900	-2,3148
PLLCG	1,04±0,04	0,97±0,01	80.067,15	2.802,23	1.839,98	-6,1700	-2,1762
RG305	1,05±0,01	0,98±0,05	1,01±0,02	96,14	41,84	0,1900	-0,0870
RP305 ²	0,57±0,14	0,64±0,13	0,64±0,15	0,42±0,26	103,23	-0,7876	-0,0120
PG305	-0,25±0,17	-0,30±0,17	-0,09±0,21	0,08±0,24	-0,32±0,19	0,0587	0,0013
PP305 ²	-0,79±0,37	-0,60±0,38	-0,65±0,43	-0,75±0,56	-0,10±0,30	0,46±0,23	0,0001

1/ Elementos sobre la diagonal son varianzas genéticas aditivas ($\sigma_{\sigma}^2 = h^2 \cdot \sigma_p^2$), arriba son covarianzas ($\sigma_{\sigma_i \sigma_j} = r_{\sigma_i \sigma_j} \cdot \sigma_{\sigma_i} \sigma_{\sigma_j}$) y debajo de la diagonal son correlaciones genéticas

2/ Valores involucrando proteína fueron obtenidos a partir de análisis del modelo 2.

concluir que la correlación fenotípica entre características de rendimiento relacionados con la producción de leche son mayores que 80%.

En el mismo orden de los resultados, las var-covarianzas y correlaciones genéticas pueden apreciarse en el Cuadro 18. Al igual que la r_{P} , las correlaciones entre rendimientos fueron positivas, oscilando entre $0,42 \pm 0,26$ entre producción de grasa y proteína y $1,05 \pm 0,02$ entre PL/PM y PL305 (Cuadro 18). En este Cuadro se puede apreciar que las r_{G} entre las características de rendimiento (PL305, PL/PM, PLLCG, RG305 y RP305) y de % (PG305 y PP305) fueron negativas, con excepción de la correlación entre producción y % de grasa, así como % de grasa y proteína, las cuales fueron positivas. Estas fueron de $0,08 \pm 0,24$ y $0,46 \pm 0,23$, respectivamente.

El Cuadro 18 muestra valores superiores a uno para todas las correlaciones genéticas que involucran la PL/PM, con excepción de que PL/PM está negativamente relacionada con PG305 y PP305 ($-0,25$ y $-0,79$, respectivamente). Comparaciones entre lo encontrado en este trabajo y en la literatura es muy difícil hacerlo, por el hecho de que muy poco se ha trabajado con este tipo de variable y por lo tanto muy poco reportado, hasta donde se pudo constatar en la bibliografía consultada. De cualquier forma, es importante notar la presencia de una variabilidad genética apreciable y similar a la de PL305. Asimismo, resultando promisorio el hecho de poder hacer inferencias genéticas sobre producción de leche por ha, por ejemplo relacionándolo con carga animal. En los países tropicales, donde las limitaciones de tierra son importantes, quizás características como PL/PM presentan perspectivas mejores que simplemente PL305, máxime cuando PL/PM está correlacionada con las otras características de la leche. Sin embargo, no se puede sacar una conclusión total sobre la utilidad de esta característica hasta no

estudiar la relación que esta guarda con características de reproducción o de adaptabilidad en general.

La correlación genética entre PL305 y RG305, de $0,98 \pm 0,05$, encontrada en este trabajo es más alta que los valores reportados en otros trabajos. Por ejemplo, Hardie et al. (1978) reportan una r_g entre PL305 y RG305 de 0,29 en Guernsey y de 0,70 en Holstein. En forma similar, Jager y Kennedy (1987) encontraron r_g entre PL305 y RG305 de 0,57 en Holstein, mientras que Hargrove et al. (1981) reportaron una correlación de $0,40 \pm 0,18$ también en ganado Holstein. En cambio Thompson y Loganathan (1968) encontraron r_g superiores a las anteriormente indicadas, pero todavía inferiores a la del presente estudio (0,79). Asimismo, Peterson et al. (1982) reporta una r_g entre producción de leche y grasa de 0,82.

En América Latina trabajos realizados por Adkinson et al. (1974) en Ecuador y por Vaccaro et al. (1979) en Perú señalan una r_g entre PL305 y RG305 de 0,98 y 0,60, respectivamente, los cuales son similares en magnitud al valor reportado aquí. De todas formas, según las pocas publicaciones en las zonas tropicales y los resultados de este trabajo, la correlación genética entre producción de leche y grasa es alta y positiva y al parecer superior a las publicadas en la áreas templadas. El significado y las implicaciones genéticas de ésta, implican que la selección directa ejercida sobre producción de leche por lactancia traería cambios genéticos correlacionados en producción de grasa, que se puede tomar en cuenta.

La correlación entre producción de leche y proteína en el presente trabajo fue $0,64 \pm 0,13$. Esta correlación es inferior a los encontrados en la literatura (Hardie et al., 1978; Peterson et al., 1982; Gaunt et al., 1968; Butcher et al., 1967; Jager y Kennedy, 1987 y Hargrove et al., 1981). Estos autores reportaron correlaciones genéticas entre producción de leche y proteína

que varió entre 0,82 y 0,95. Tales valores para el trópico Latinoamericano son muy escasos.

La correlación genética entre PL305 y características de porcentaje (PG305 y PP305) resultaron ser negativas. Estos valores fueron $-0,30 \pm 0,17$ entre PL305 y PG305 y $-0,60 \pm 0,38$ entre PL305 y PP305 (Cuadro 18). Tales resultados son muy diferentes al encontrado por Lobo et al. (1979) en Brasil que fue de 0,64 entre producción de leche y % de grasa y al obtenido por Adkinson et al. (1974) en Ecuador (0,09), también es inferior a los reportados por Hardie et al. (1978) en Holstein y Butcher et al. (1967). Sin embargo, la r_g entre leche y grasa encontrada en el presente trabajo está bastante cercana a lo reportado por Gaunt et al. (1968) y al de Tabler y Touchberry (1959), quienes reportaron r_g de $-0,34$ y $-0,33 \pm 0,02$, respectivamente. En cambio es superior al $-0,75$ estimado por Hardie et al. (1978), al $-0,43$ de Jager y Kennedy (1987) y al $-0,56 \pm 0,10$ de Hargrove et al. (1981), así como al $-0,50$ reportado por Tabler y Touchberry (1955). La r_g entre PL305 y PP305 encontrada en el presente trabajo es inferior a la mayoría de los valores reportados en la literatura. Por ejemplo, Hardie et al. (1978) obtuvieron un estimador de $-0,22$ y Hargrove et al. (1981) reportaron un valor de $-0,48 \pm 0,11$. En cambio un estimado de $-0,64$ fue reportado por Jager y Kennedy (1987) en ganado Holstein.

La producción de grasa mostró una r_g de $0,42 \pm 0,26$ con la producción de proteína, valor ligeramente inferior a los encontrados en la literatura (Hardie et al., 1978; Jager y Kennedy, 1987 y Hargrove et al., 1981). Los valores de r_g reportados por estos autores varían entre 0,66 y 0,69. El valor de r_g aquí encontrado puede tener todavía mucho más significado si es visto desde el punto de vista de la deficiencia de proteína de origen animal en la alimentación humana, deficiencia que es acentuada en Centro América, aunque de igual forma en otros países de la América Latina tropical. Pues, se observa la posibilidad genética y biológica de introducir cambios sostenidos

en el mejoramiento de este componente basado en la h^2 del mismo y la relación genética que este guarda con otras características. Más aún, cuando el manejo tradicional es a base de pastoreo, como en el caso del hato lechero del CATIE, de donde proviene la información analizada en el presente estudio.

El coeficiente de correlación genética de la producción de grasa con PG305 fue positivo pero cercano a cero ($0,08 \pm 0,24$, Cuadro 18), mientras que con el PP305 fue negativo ($-0,75 \pm 0,56$, Cuadro 18). El valor encontrado en este estudio para producción y % de grasa es inferior a los reportados en la literatura, los que varían entre 0,17 y 0,63 (Hardie et al., 1978; Tabler y Touchberry, 1955; Tabler y Touchberry, 1959; Butcher et al., 1967; Jager y Kennedy, 1987; Hargrove et al., 1981; Thompson y Loganathan, 1968). El único trabajo en Latinoamérica que se pudo localizar es el de Adkinson et al. (1974) en Ecuador quienes encontraron una correlación de 0,30 entre producción y % de grasa.

Entre RP305 y PG305 se determinó una correlación genética de $-0,32 \pm 0,19$ (Cuadro 18), el cual está en el rango de valores reportados en diversos estudios. Hardie et al. (1978) reportaron un valor de $-0,39$ y Hargrove et al. (1981) encontraron un valor de $-0,13 \pm 0,14$. La correlación genética de $-0,10 \pm 0,30$ entre producción y % de proteína es muy cercana al $-0,16$ encontrado por Jager y Kennedy (1987), pero contrario al 0,30 de Hardie et al. (1978) y al $0,09 \pm 0,15$ de Hargrove et al. (1981).

La r_g entre PG305 y PP305 fue de $0,46 \pm 0,23$, el cual es muy parecido al obtenido por Gaunt et al. (1968), pero más bajo que los obtenidos en otros estudios (Hardie et al., 1978; Jager y Kennedy, 1987; Hargrove et al., 1981). Esta asociación genética relativamente alta entre % de grasa y proteína indica la posibilidad de modificar conjuntamente ambos componentes lácteos.

Hasta ahora, en base a los resultados obtenidos en este estudio, ha sido claro que la producción de leche y sus constituyentes presentan una variabilidad genética relativamente amplia que la hacen candidata a selección masal, por lo menos bajo las condiciones del trópico húmedo de Turrialba. Sin embargo, también se han mostrado importantes correlaciones genéticas, algunas positivas y otras negativas, que parecen sugerir la necesidad de considerar más de una característica en un programa de selección, ya sea para aprovechar esta interrelación en el mejoramiento del genotipo lechero o para no causar efectos detrimentales en la calidad de la leche.

4.4 INDICE DE SELECCION.

Anteriormente se mostró la dificultad de considerar una sola característica por el hecho de que se encontraron diferentes grados y direcciones de asociación genética entre las características de producción y composición de la leche por lactancia. En el presente estudio también se evaluaron diversos modelos de índices de selección, en base a los distintos parámetros ya descritos. Para propósitos comparativos la respuesta anticipada, directa o correlacionada, en una generación a partir de selección se expresó como el cambio genético esperado para un diferencial de selección de una desviación estándar fenotípica.

4.4.1 SELECCION INDIVIDUAL.

Empleando las expresiones propuestas por Ronningen y Van Vleck (1985), como fue descrito en la sección de Materiales y Métodos, se estimaron las respuestas esperadas directas (CGD) y correlacionadas (CGC) a partir de selección para una sola característica que son presentadas en el Cuadro 19. En el Cuadro 20 se observan los mismos cambios genéticos, pero expresados como una proporción del cambio directo. Por ejemplo, selección

Cuadro 19. Cambio genético esperado (CGE)¹ por generación en PL305, PL/PM, PLLCG, RG305, RP305, PG305 y PP305 para selección simple de una característica basado en un diferencial de selección fenotípico de una desviación estándar.

CARACT	CGE para rendimientos(kg)					CGE para %(%)	
	PL/PM	PL305	PLLCG	RG305	RP305	PG305	PP305
PL/PM	2,18 ²	182,37 ³	158,27	5,54	3,11	-0,0326	-0,0050
PL305	2,18	169,43	142,62	4,99	3,38	-0,0378	-0,0037
PLLCG	1,78	134,19	120,05	4,20	2,75	-0,0092	-0,0033
RG305	1,47	110,58	98,90	3,40	1,48	0,0067	-0,0031
RP305	1,24	112,41	97,55	2,22	5,47	-0,0418	-0,0006
PG305	-0,58	-55,85	-14,54	0,45	-1,86	0,1391	0,0031
PP305	-1,20	-73,65	-69,24	-2,77	-0,38	0,0419	0,0044

1/ Unidades/generación de selección

2/ Elementos sobre la diagonal representan respuestas directa al seleccionar para esa característica.

3/ Valores arriba y abajo de la diagonal son respuestas correlacionadas

Cuadro 20. Cambio genético esperado (CGE) expresado como una proporción del CGE directo (CGD) producto de seleccionar sobre una simple característica basado en un diferencial de selección de una desviación estándar.

CARACT	CGE/CGD (%)						
	PL/PM	PL305	PLLCG	RG305	RP305	PG305	PP305
PL/PM	100	108	132	163	57	-23	-114
PL305	100	100	119	147	62	-27	-84
PLLCG	82	79	100	124	50	-7	-75
RG305	67	65	82	100	27	5	-70
RP305	57	66	81	65	100	-30	-14
PG305	-27	-33	-12	13	-34	100	70
PP305	-55	-43	-58	-3	-7	30	100

directa para PL305 resultaría en un incremento de 169,43 kg por generación. Tal valor expresado como una proporción de la media del hato es más que el doble del esperado según los estudios de Butcher et al. (1967) y Gaunt (1973) en Holstein y por Hardie et al. (1978) tanto en Holstein como en Guernsey. Estas diferencias tan grandes probablemente son consecuencia de la menor presión de selección aplicada al hato criollo a través de los años y la diferencia muy grande en media para producción de leche entre las razas asociadas como indicación de la posibilidad de selección.

Es de interés notar que la selección directa para producción de leche por kg de peso metabólico (PL/PM) resulta en un cambio genético correlacionado en PL305 ligeramente mayor que la selección directa para esta característica (Cuadro 19 y 20). Selección con base en PL/PM también causa una mayor respuesta en PLLCG y RG305, que cuando la selección es sobre estas características. Además, la mejora en RP305 y la reducción en PG305 es muy similar a lo que se esperaría cuando se aplica la selección directa para PL305. Los resultados anteriores parecen ratificar la utilidad de esta variable en un programa de selección, quizás producto de una variabilidad genética muy similar a la producción de leche y a la alta correlación genética con ésta, como fue anteriormente señalado. La mayor utilidad de la PL/PM es posiblemente, porque hasta cierto grado enfatiza la eficiencia de producción de leche bajo condiciones del trópico. Pero es necesario notar que PL/PM puede potencialmente representar lo que es eficiencia total de la producción, si se le hacen análisis bio-económicos.

Selección directa para PL305 resultaría en un cambio genético correlacionado en RG305 de 4,99 kg. Este valor es superior al 3,30 kg que se obtendría si la selección fuera sobre producción de grasa, en tanto que el % de proteína sufriría una drástica reducción y el PG305 se reduciría ligeramente. La efi-

ciencia de selección en PL305 para mejorar RP305 sería de 62% en relación a la selección directa para esta característica. Tendencias similares a lo encontrado en este trabajo han sido reportadas por Gaunt et al. (1973) en ganado Holstein, Kennedy (1982) y Hardie et al. (1978) en Guernsey. En forma similar, Butcher et al. (1967) y Hardie et al. (1978), ambos en ganado Holstein, encontraron resultados muy similares con la diferencia de que en éstos el cambio en % de grasa fue positivo.

Selección para PLLCG mantiene prácticamente invariable el % de grasa de la leche y mejora notablemente el RG305, pero solamente logra una eficiencia de 79% en la ganancia genética para producción de leche. Este tipo de modelo de selección pareciera ser más efectivo en comparación a la selección para PL305, si el sistema de pago de la leche otorgara precios diferenciales importantes de acuerdo al contenido de grasa. Además selección para PLLCG mejoraría en un 124% el RG305, mejoraría el RP305 (50%) y sería menos perjudicial para el % de proteína que cuando la selección es sobre PL305 o PL/PM (Cuadro 19 y 20).

Selección para cualquiera de las características de rendimiento de los constituyentes de la leche resultaría en un pobre mejoramiento de la producción de leche, según como se evidenció por las r_g antes discutidas. Selección directa para RG305 tendría una eficiencia de solo 65% en PL305 a comparación con la selección directa ejercida para la producción de leche por lactancia, además provocaría un ligero cambio positivo en el % de grasa y una fuerte reducción en % de proteína, a pesar de que el cambio en RP305 sea positivo (Cuadro 19 y 20). Por otro lado, cuando la selección es directamente para la producción de proteína el cambio genético esperado en PL305 sería de 112,41 kg por generación, el cual representa un 66 % de la ganancia esperada que si la selección fuera para PL305 directamente. Asimismo, este tipo de alternativa de selección en realidad causaría reducción tanto del % de grasa, como el % de

proteína, según como se puede apreciar en los Cuadros 19 y 20. Algunas predicciones de los cambios genéticos directos e indirectos en la producción de leche y sus constituyentes han sido reportados en la literatura (Butcher et al., 1967; Gaunt, 1973; Kennedy, 1982 y Hardie et al., 1978). En estos trabajos, es evidente que selección para los constituyentes de hecho disminuyen el cambio esperado en la producción de leche por lactancia. Pero estos mismos autores también reportaron cambio positivo, pero cercano a cero, en % de proteína, diferente a lo encontrado en el presente trabajo. Sin embargo, es conveniente notar que los cambios negativos esperados en PP305, son cercanos a cero, cuando la selección es para producción de grasa o proteína. Esto se debe principalmente al hecho de que el % de proteína cuenta con una variabilidad genética reducida (Cuadro 16), lo que la hizo prácticamente insensible a la selección directa. Es por esta razón que en la selección directa para PP305 se obtendría una variación sin importancia, solo de 0,0044 % por generación. En general, de los resultados anteriores, es evidente la notable ventaja de mejorar el genotipo lechero mediante la selección directa para PL/PM.

Selección para cualquiera de los % de los constituyentes de la leche analizados en este trabajo causaría un efecto detrimental sobre el cambio de cualquiera de las características del volumen de leche (PL305, PL/PM, PLLCG). Mientras que la selección para PG305 reduciría en 55,85 kg por generación la producción de leche, en tanto que la selección para PP305 produciría un cambio genético de -73,65 kg en la producción de leche. Cambios directos e indirectos similares a los encontrados aquí, en tendencia pero no en magnitud, han sido reportados en la literatura (Butcher et al., 1967; Gaunt, 1973; Kennedy, 1982; Hardie et al., 1978).

La Figura 2 muestra el efecto de la selección directa en las distintas características estudiadas sobre la producción de leche. De aquí se desprende que si hubiera que mejorar genéti-

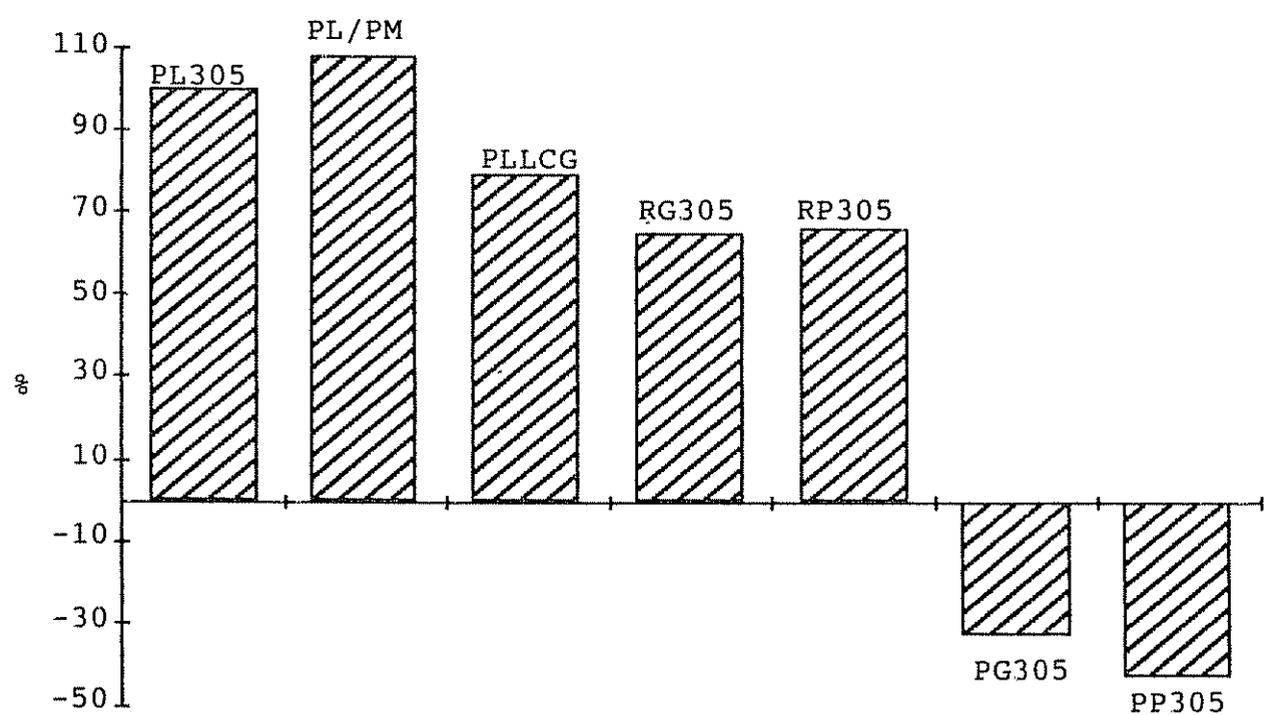


Fig. 2. Cambio genético esperado expresado como una proporción de la respuesta genética directa para PL305 al seleccionar sobre una sola característica.

amente la producción de leche en base a la selección para una sola característica, el índice más conveniente sería aquel que considerara la producción de leche por kg de peso metabólico ($I=0,29PL/PM$). La Figura 3 compara el efecto de la selección en PL305 y PL/PM sobre las características estudiadas (PL305, PLLCG, PL/PM, RG305, RP305, PG305 y PP305). Esta Figura muestra en general la mayor eficiencia en usar la PL/PM como característica de selección. En ambos casos, la respuesta correlacionada en producción de proteína y leche corregida por grasa es mayor que la que se obtendría bajo selección directa. La respuesta en producción de proteína es cerca del 60% de la selección directa para estas características. La reducción en % de grasa, a consecuencia de la asociación genética negativa, es similar cuando la selección es ejercida sobre PL305 o sobre PL/PM, pero la reducción en % de proteína es mucho más grande al seleccionar sobre esta última característica que en base a PL305. Esto es debido a la mayor correlación genética negativa de la PL/PM con el % de proteína. De todos modos, la reducción del % de grasa provocada por la selección en PL/PM representa un 0,03%, del promedio de % de grasa, por generación de selección. Tal cambio parece muy pequeño como para preocuparse en el establecimiento de algún tipo de restricción. Por otro lado, el cambio negativo para % de proteína no es preocupación, ya que prácticamente no responde a la selección directa, como fue mencionado anteriormente.

4.4.2 SELECCION USANDO INFORMACION DEL INDIVIDUO Y SUS PARIENTES PARA MEJORAR SOLO UNA CARACTERISTICA.

Otro modelo de selección evaluado en el presente estudio fue obtenido considerando la información de producción del individuo sujeto a selección, las medias hermanas y la madre de este individuo. En esta parte solamente fueron evaluadas aquellas características que mostraron ser importantes en la respuesta genética esperada para producción de leche. Tales

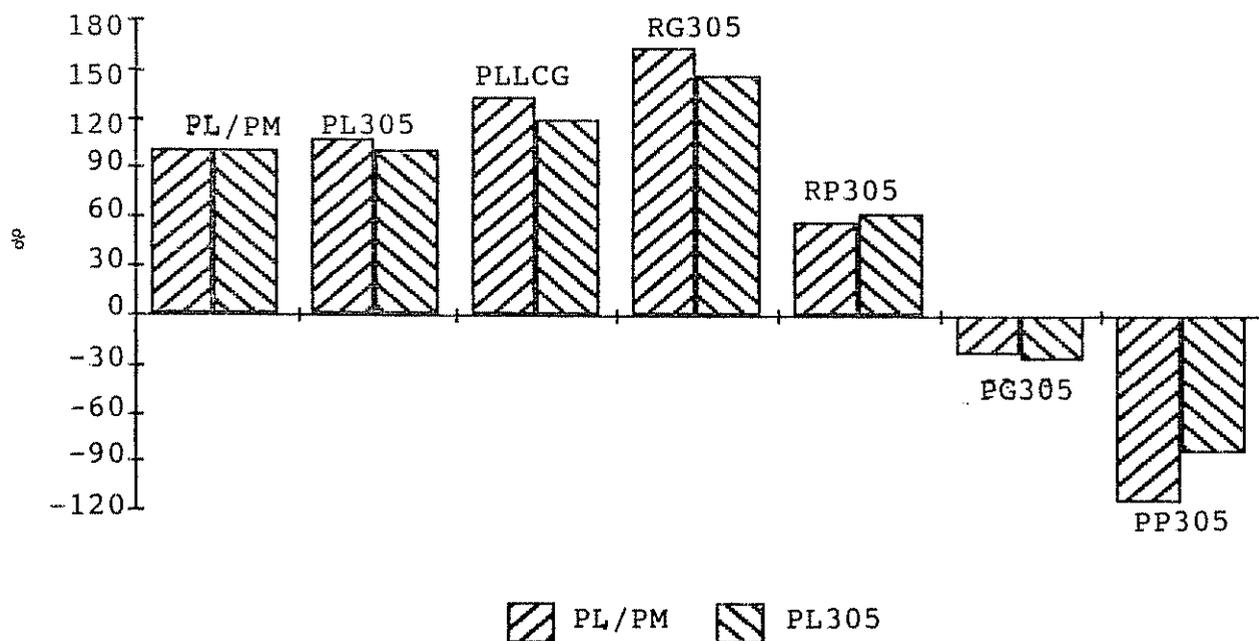


Fig. 3. Cambio genético esperado expresado como una proporción del cambio genético directo para cada una de las características estudiadas al seleccionar sobre PL/PM o sobre PL305.

características fueron la producción de leche por kg de peso metabólico y la producción de leche misma.

En el Cuadro 21 se presentan los cambios genéticos y la correlación entre el genotipo y el índice encontrados, considerando las condiciones actuales de los registros en cada uno de los parientes del individuo sujeto a la selección. Los valores asignados a N_1 , N_2 , N_3 y P_2 corresponden a los coeficientes de los componentes de varianza (K_i) generados del modelo 2 ($N_1=K_1$, $N_2=K_2$, $N_3=K_3$, $P_2=K_4$). En el Cuadro 21 puede notarse que al considerar información del individuo, las medias hermanas y la madre, el coeficiente de correlación (r_{rr}) es del orden de 0,71, acompañado de un cambio genético en PL305 de 231,88 kg por generación, el cual es superior al que se obtendría bajo selección directa. Cuando la selección es sobre PL/PM (Cuadro 22) tal cambio fue de 249,29 kg por generación acompañado de una r_{rr} igual a 0,74. Esto viene a confirmar nuevamente la utilidad de la PL/PM en sistema de mejoramiento, por lo menos bajo condiciones de trópico húmedo. En ambos Cuadros se observan cambios genéticos superiores en RG305 y RP305, en relación a la selección directa, mientras que la reducción en % de los constituyentes es similar.

Los Cuadros 21 y 22 también muestran la utilidad de incluir determinados parientes de la vaca en el índice. Al incluir la información de la madre en el índice, el CGD para PL305 cambiaría en 218,24 kg, mientras que al incluir las medias hermanas paternas tal cambio sería de 222,01 kg. En ambos casos es evidente que la inclusión de la información de la madre (M) y las medias hermanas paternas (MHP) mejora notablemente el cambio genético esperado en producción de leche. Además, ambos Cuadros sugieren que la información de la madre es tan importante como la de las hijas en la evaluación genética del individuo, aunque la información de la madre pareciera ser ligeramente mejor. Por otro, lado cuando el indi-

Cuadro 21. Cambio genético esperado (CGE) por generación en las distintas características estudiadas y correlación entre el genotipo y el índice (r_{IT}) al seleccionar sobre la PL305 usando el número de registros actuales de distintos grupos familiares.

Ponderación			Tipo de información					CGE para rendimientos(kg)					CGE para %		r_{IT}
Vaca	MHP	Madre	N_1	N_2	N_3	P_2	P_3	PL/PM	PL305	PLLC6	R6305	RP305	P6305	PP305	
0,34	0,38	0,13	3,2	3,9	3,2	11,2	1	2,99	231,88	195,19	6,83	4,62	-0,05	0,00	0,71
0,37	0,36	---	3,2	3,9	---	11,2	-	2,86	222,01	186,88	6,54	4,43	-0,05	0,00	0,68
0,38	---	0,12	3,2	---	3,2	---	1	2,81	218,24	183,71	6,43	4,35	-0,05	0,00	0,67
---	0,57	0,20	---	3,9	3,2	11,2	1	2,09	161,71	136,12	4,77	3,22	-0,04	0,00	0,49
0,27	---	---	---	---	---	---	-	2,18	169,43	120,05	3,40	5,47	0,14	0,00	0,52

N_1 = Número de registros del individuo sujeto a selección
 N_2 = Número de registros del grupo de medias hermanas paternas
 N_3 = Número de registros de la Madre
 P_2 = Número de medias hermanas paternas
 P_3 = La Madre del individuo

Cuadro 22. Cambio genético esperado (CGE) por generación en las distintas características estudiadas y correlación entre el genotipo y el índice (r_{IT}) al seleccionar sobre PL/PM usando el número de registros actuales de distintos grupos familiares.

Ponderación			Tipo de información					CGE para rendimientos(kg)					CGE para %		r_{IT}
Vaca	MHP	Madre	N_1	N_2	N_3	P_2	P_3	PL/PM	PL305	PLLC6	R6305	RP305	P6305	PP305	
0,38	0,37	0,14	3,2	3,9	3,2	11,2	1	2,97	249,29	216,33	7,57	4,26	-0,04	-0,01	0,74
0,41	0,35	---	3,2	3,9	---	11,2	-	2,86	239,56	207,89	7,27	4,09	-0,04	-0,01	0,71
0,42	---	0,13	3,2	---	3,2	---	1	2,82	236,50	205,24	7,18	4,04	-0,04	-0,01	0,70
---	0,60	0,22	---	3,9	3,2	11,2	1	2,07	173,72	150,75	5,27	2,97	-0,03	-0,01	0,51
Selección sobre PL/PM								2,18	182,73	158,27	5,54	3,11	-0,03	0,00	0,54

N_1 = Número de registros del individuo sujeto a selección
 N_2 = Número de registros del grupo de medias hermanas paternas
 N_3 = Número de registros de la Madre
 P_2 = Número de medias hermanas paternas
 P_3 = La Madre del individuo

viduo es escogido, sin considerar su propia información, los resultados son inferiores a los obtenidos bajo selección directa. Decididamente, la producción del individuo es la más importante a la hora de evaluar ese mismo animal, pero las medias hermanas y la madre juegan un papel muy importante en la calificación genética de un animal.

Las anteriores conclusiones deben tomarse con mucha reserva, ya que mientras la selección directa se hizo en base a un solo registro, la selección usando información de parientes se generó a partir de más de un registro por grupo familiar. Esto lógicamente no hace justa la comparación, además no es del todo cierto que en el momento de evaluar un animal se cuente con la información (número de registros) señaladas en los Cuadros 21 y 22; si esto fuera así posiblemente el intervalo entre generaciones sería excesivamente grande. Para evitar esto y hacer más razonables las comparaciones, se generaron respuestas a partir de diferente número de registros y miembros por grupo. El Cuadro 23 presenta los coeficientes de correlación múltiple (r_{1T}), los cambios genéticos esperados y los coeficientes de ponderación para cada una de las fuentes de información al seleccionar sobre PL305. El Cuadro 24 muestra los mismos resultados pero seleccionando sobre la producción de leche por kg de peso metabólico, r_{1T} representa la correlación estimada entre el genotipo y el índice y así éste puede ser usado para juzgar la utilidad de las diferentes clases y cantidades de información.

El punto de comparación para evaluar el efecto de incluir otras fuentes de información distintas a las del candidato a selección es la correlación entre el fenotipo y el genotipo, el cual fue de 0,52, cuando la selección es en base a la producción del individuo (Cuadro 21). Si se considera un solo registro por grupo familiar, en el Cuadro 23 puede verse que la r_{1T} es de 0,53, lo cual implica una mejoría del 1,6% por el he-

Cuadro 23. Cambio genético esperado por generación (CGE) para las distintas características estudiadas y correlación entre el genotipo y el índice (r_{IT}) al seleccionar sobre PL305 usando diferentes números de registros de distintas fuentes de información.

=====															
Ponderación		Tipo de información					CGE para rendimientos(kg)					CGE para %		r_{IT}	
Vaca	MHP	Madre	H ₁	H ₂	H ₃	P ₂	P ₃	PL/PM	PL305	PLLCG	RG305	RP305	PG305		PP305
0,27	0,05	---	1	1	-	1	-	2,22	172,24	144,99	5,08	3,43	-0,04	0,00	0,53
0,40	0,04	---	3	1	-	1	-	2,70	209,04	175,97	6,16	4,17	-0,05	0,00	0,64
0,44	0,04	---	5	1	-	1	-	2,84	219,98	185,17	6,48	4,39	-0,05	0,00	0,67
0,26	0,07	---	1	3	-	1	-	2,24	173,64	146,16	5,12	3,46	-0,04	0,00	0,53
0,26	0,08	---	1	5	-	1	-	2,25	174,10	146,55	5,13	3,47	-0,04	0,00	0,53
0,26	0,13	---	1	1	-	3	-	2,28	176,82	148,84	5,21	3,53	-0,04	0,00	0,54
0,26	0,20	---	1	1	-	5	-	2,33	180,39	151,84	5,32	3,60	-0,04	0,00	0,55
0,25	0,32	---	1	1	-	10	-	2,41	186,62	157,09	5,50	3,72	-0,04	0,00	0,57
0,39	0,16	---	3	1	-	5	-	2,75	213,61	179,81	6,30	4,26	-0,05	0,00	0,66
0,26	---	0,10	1	-	1	-	1	2,33	180,56	151,99	5,32	3,60	-0,04	0,00	0,55
0,39	---	0,08	3	-	1	-	1	2,76	213,71	179,89	6,30	4,26	-0,05	0,00	0,66
0,43	---	0,08	5	-	1	-	1	2,89	223,79	188,38	6,60	4,46	-0,05	0,00	0,69
0,25	---	0,15	1	-	3	-	1	2,40	186,02	156,59	5,48	3,71	-0,04	0,00	0,57
0,25	---	0,17	1	-	5	-	1	2,42	187,83	158,11	5,54	3,75	-0,05	0,00	0,58
0,38	---	0,14	3	-	5	-	1	2,81	217,93	183,45	6,42	4,35	-0,05	0,00	0,67
0,25	0,05	0,10	1	1	1	1	1	2,36	183,30	154,29	5,40	3,66	-0,04	0,00	0,56
0,38	0,04	0,08	3	1	1	1	1	2,78	215,28	181,22	6,34	4,29	-0,05	0,00	0,66
0,43	0,04	0,08	5	1	1	1	1	2,90	225,09	189,47	6,63	4,49	-0,05	0,00	0,69
0,25	0,08	0,10	1	3	1	1	1	2,38	184,66	155,44	5,44	3,68	-0,04	0,00	0,57
0,25	0,08	0,10	1	5	1	1	1	2,39	185,11	155,82	5,46	3,69	-0,04	0,00	0,57
0,25	0,05	0,15	1	1	3	1	1	2,43	188,73	158,87	5,56	3,76	-0,04	0,00	0,58
0,24	0,05	0,17	1	1	5	1	1	2,46	190,53	160,38	5,61	3,80	-0,04	0,00	0,58
0,25	0,13	0,10	1	1	1	3	1	2,42	187,76	158,06	5,53	3,74	-0,04	0,00	0,58
0,24	0,20	0,10	1	1	1	5	1	2,47	191,26	160,99	5,64	3,81	-0,04	0,00	0,59
0,23	0,32	0,10	1	1	1	10	1	2,55	197,37	166,14	5,82	3,94	-0,04	0,00	0,60
0,24	0,08	0,17	1	3	5	1	1	2,47	191,87	161,51	5,65	3,83	-0,04	0,00	0,59
0,24	0,08	0,17	1	5	5	1	1	2,48	192,32	161,89	5,67	3,84	-0,04	0,00	0,59
0,24	0,14	0,17	1	1	5	3	1	2,51	194,94	164,09	5,74	3,89	-0,04	0,00	0,60
0,23	0,20	0,17	1	1	5	5	1	2,56	198,39	167,00	5,85	3,96	-0,04	0,00	0,61
0,22	0,32	0,17	1	1	5	10	1	2,64	204,44	172,09	6,02	4,08	-0,04	0,00	0,63

Continuación Cuadro 23.

Fundación		Tipo de Información						CGE para rendimientos(kg)				CGE para %			
Vaca	MHP	Madre	N ₁	N ₂	N ₃	P ₂	P ₃	PL/PM	PL305	PLLCG	RG305	RP305	PG305	PP305	r _{IT}
0,36	0,13	0,14	3	1	5	3	1	2,87	222,20	187,04	6,55	4,43	-0,05	0,00	0,68
0,36	0,17	0,14	3	1	5	5	1	2,89	224,32	188,83	6,61	4,47	-0,05	0,00	0,69
---	0,07	0,14	-	1	1	1	1	1,22	94,71	79,73	2,79	1,89	-0,02	0,00	0,29
---	0,42	0,22	-	1	5	10	1	1,96	152,06	128,00	4,48	3,03	-0,03	0,00	0,47

N₁ = Número de registros del individuo sujeto a selección

N₂ = Número de registros del grupo de medias hermanas paternas

N₃ = Número de registros de la Madre

P₂ = Número de medias hermanas paternas

P₃ = La Madre del individuo

Cuadro 24. Cambio genético esperado (CGE) para las distintas características estudiadas y correlación entre el genotipo y el índice (r_{IT}) al seleccionar sobre PL/PM usando diferentes números de registros de distintas fuentes de información.

Ponderación		Tipo de información					CGE para rendimientos(kg)					CGE para %		r_{IT}	
Vaca	MHP	Madre	N ₁	N ₂	N ₃	P ₂	P ₃	PL/PM	PL305	PLLCG	RG305	RP305	PG305		PP305
0,29	0,05	---	1	1	-	1	-	2,21	185,48	160,96	5,63	3,17	-0,03	-0,01	0,55
0,44	0,04	---	3	1	-	1	-	2,71	227,36	197,31	6,90	3,88	-0,04	-0,01	0,67
0,49	0,04	---	5	1	-	1	-	2,86	240,08	208,34	7,29	4,10	-0,04	-0,01	0,71
0,28	0,08	---	1	3	-	1	-	2,23	187,00	162,28	5,68	3,19	-0,03	-0,01	0,55
0,28	0,09	---	1	5	-	1	-	2,24	187,52	162,73	5,69	3,20	-0,03	-0,01	0,55
0,28	0,14	---	1	1	-	3	-	2,27	190,10	164,97	5,77	3,25	-0,03	-0,01	0,56
0,28	0,20	---	1	1	-	5	-	2,31	193,66	168,06	5,88	3,31	-0,03	-0,01	0,57
0,27	0,32	---	1	1	-	10	-	2,38	199,79	173,38	6,07	3,41	-0,04	-0,01	0,59
0,43	0,16	---	3	1	-	5	-	2,76	231,56	200,95	7,03	3,95	-0,04	-0,01	0,68
0,27	---	0,10	1	-	1	-	1	2,31	194,01	168,37	5,89	3,31	-0,03	-0,01	0,57
0,42	---	0,08	3	-	1	-	1	2,76	231,75	201,11	7,04	3,96	-0,04	-0,01	0,68
0,48	---	0,08	5	-	1	-	1	2,90	243,51	211,32	7,39	4,16	-0,04	-0,01	0,72
0,27	---	0,16	1	-	3	-	1	2,38	199,99	173,55	6,07	3,42	-0,04	-0,01	0,59
0,26	---	0,18	1	-	5	-	1	2,41	202,2	175,32	6,13	3,45	-0,04	-0,01	0,59
0,41	---	0,15	3	-	5	-	1	2,81	236,04	204,84	7,17	4,03	-0,04	-0,01	0,70
0,27	0,05	0,10	1	1	1	1	1	2,35	196,83	170,81	5,98	3,36	-0,04	-0,01	0,58
0,42	0,04	0,08	3	1	1	1	1	2,78	233,24	202,41	7,08	3,98	-0,04	-0,01	0,69
0,47	0,04	0,08	5	1	1	1	1	2,92	244,68	212,34	7,43	4,18	-0,04	-0,01	0,72
0,27	0,08	0,11	1	3	1	1	1	2,36	198,33	172,11	6,02	3,39	-0,04	-0,01	0,58
0,27	0,09	0,11	1	5	1	1	1	2,37	198,84	172,55	6,04	3,40	-0,03	-0,01	0,59
0,26	0,05	0,16	1	1	3	1	1	2,42	202,79	175,98	6,16	3,46	-0,04	-0,01	0,61
0,26	0,05	0,18	1	1	5	1	1	2,44	204,82	177,74	6,22	3,50	-0,04	-0,01	0,60
0,26	0,14	0,11	1	1	1	3	1	2,40	201,38	174,76	6,11	3,44	-0,04	-0,01	0,59
0,26	0,21	0,11	1	1	1	5	1	2,44	204,89	177,81	6,22	3,50	-0,04	-0,01	0,60
0,25	0,33	0,11	1	1	1	10	1	2,51	210,95	183,06	6,40	3,60	-0,04	-0,01	0,62
0,26	0,08	0,18	1	3	5	1	1	2,46	206,30	179,03	6,26	3,52	-0,04	-0,01	0,61
0,26	0,09	0,18	1	5	5	1	1	2,47	206,80	179,47	6,28	3,53	-0,04	-0,01	0,61
0,25	0,14	0,18	1	1	5	3	1	2,50	209,33	181,66	6,36	3,57	-0,04	-0,01	0,62
0,25	0,21	0,19	1	1	5	5	1	2,54	212,82	184,68	6,46	3,63	-0,04	-0,01	0,63
0,24	0,33	0,19	1	1	5	10	1	2,61	218,84	189,91	6,64	3,74	-0,04	-0,01	0,64

Continuación Cuadro 24.

Ponderación		Tipo de información						CGE para rendimientos(kg)				CGE para %		r ₁₇	
Vaca	MHP	Madre	N ₁	N ₂	N ₃	P ₂	P ₃	PL/PM	PL305	PLLCG	RG305	RP305	PG305		PP305
0,40	0,11	0,15	3	1	5	3	1	2,86	240,11	208,37	7,29	4,10	-0,04	-0,01	0,71
0,39	0,17	0,15	3	1	5	5	1	2,89	242,09	210,09	7,35	4,13	-0,04	-0,01	0,71
---	0,07	0,14	-	1	1	1	1	1,22	102,09	88,59	3,10	1,74	-0,02	-0,00	0,30
---	0,44	0,25	-	1	5	10	1	1,95	163,98	142,30	4,98	2,80	-0,03	-0,00	0,48

N₁ = Número de registros del individuo sujeto a selecciónN₂ = Número de registros del grupo de medias hermanas paternasN₃ = Número de registros de la MadreP₂ = Número de medias hermanas paternasP₃ = La Madre del individuo

cho de incluir un registro de una media hermana. Si la información utilizada fuera la de la madre, la mejoría sería de un 5,6%. Aunque la madre contribuiría un poco más en la evaluación genética, la respuesta esperada por incluir un registro de cualquiera de cada una de estas fuentes parece no ser de gran importancia (Cuadro 23). Resultados similares serían encontrados si la característica empleada en la selección fuera la PL/PM (Cuadro 24). La Figura 4 compara la importancia de registros de una media hermana paterna en la evaluación del animal. La Figura 5 es similar, pero considera la madre como fuente de información.

Al incluir ambas, la media hermana y la madre en el índice, la correlación entre éste y el genotipo del índice es de 0,56 (Cuadro 23), sugiriendo que el mejoramiento en la eficiencia no es sustancial, si se comparara a la selección directa. Aunque debe señalarse que el cambio genético esperado en PL305, utilizando un registro de la madre y otro de la MHP (183,30 kg, Cuadro 23) es mayor que cuando se selecciona directamente para PL305; lo mismo ocurre cuando la variable considerada es la PL/PM (Cuadro 24). Sin embargo, la situación descrita no es la más común entre la ganadería del área, una situación más frecuente, al momento de decidir si un animal es conservado, es encontrarse con 10 medias hermanas paternas cada una con un registro, la madre con cinco registros y el individuo con un solo registro. Bajo esta situación, la r_{IT} al usar PL305 como característica de selección es de 0,63. Al usar PL/PM, tal r_{IT} es de 0,64. Estos resultados sugieren que el uso de información del individuo, la madre y las medias hermanas paternas son 1,2 veces más eficiente que si se usaran solo registros del propio individuo. Como se observa en los Cuadros 23 y 24, el cambio en leche bajo estas circunstancias sería de 204,44 kg y 218,84 kg, respectivamente comparado al 169,43 kg y 182,73 kg bajo selección individual sobre PL305 o PL/PM.

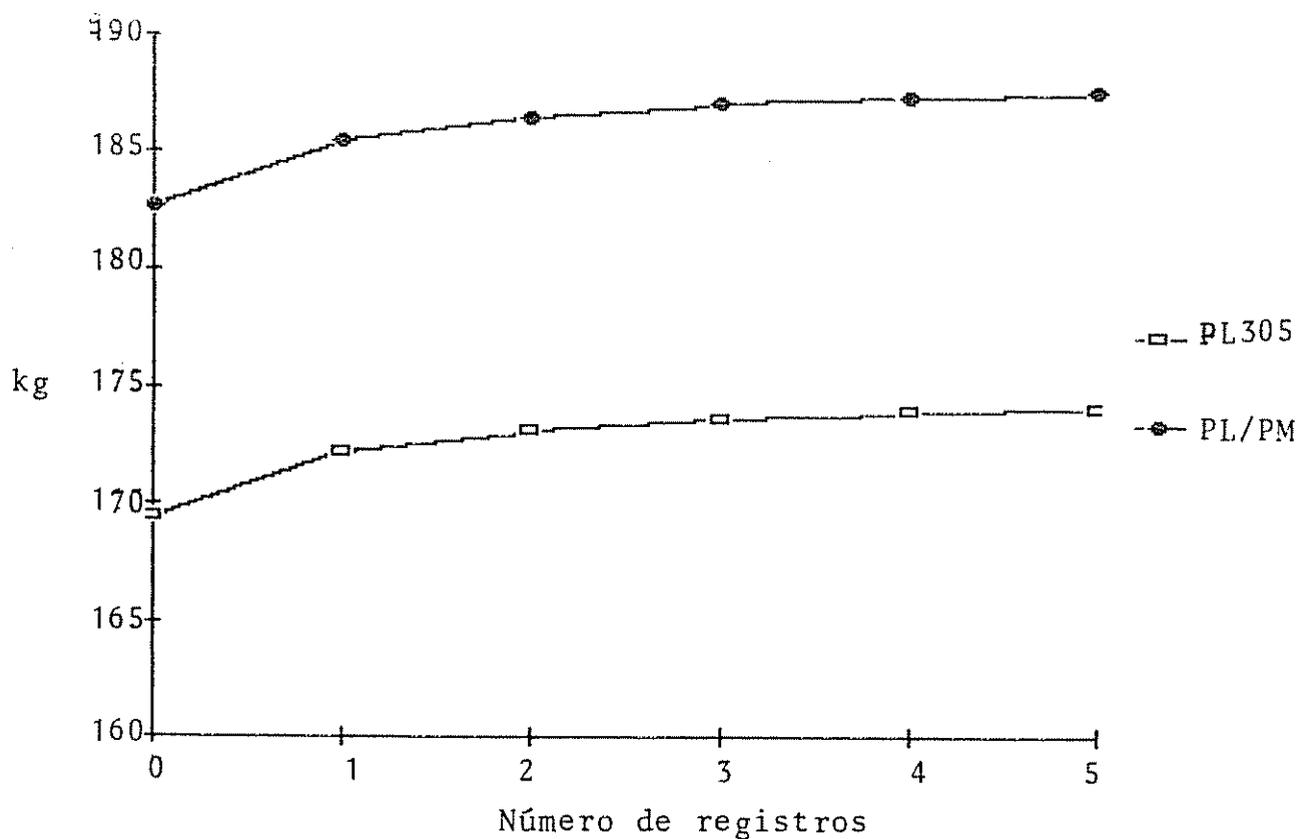


Fig 4. Efecto de la inclusión de registros de una media hermana paterna sobre el cambio genético esperado en PL305 al seleccionar sobre PL305 o PL/PM.

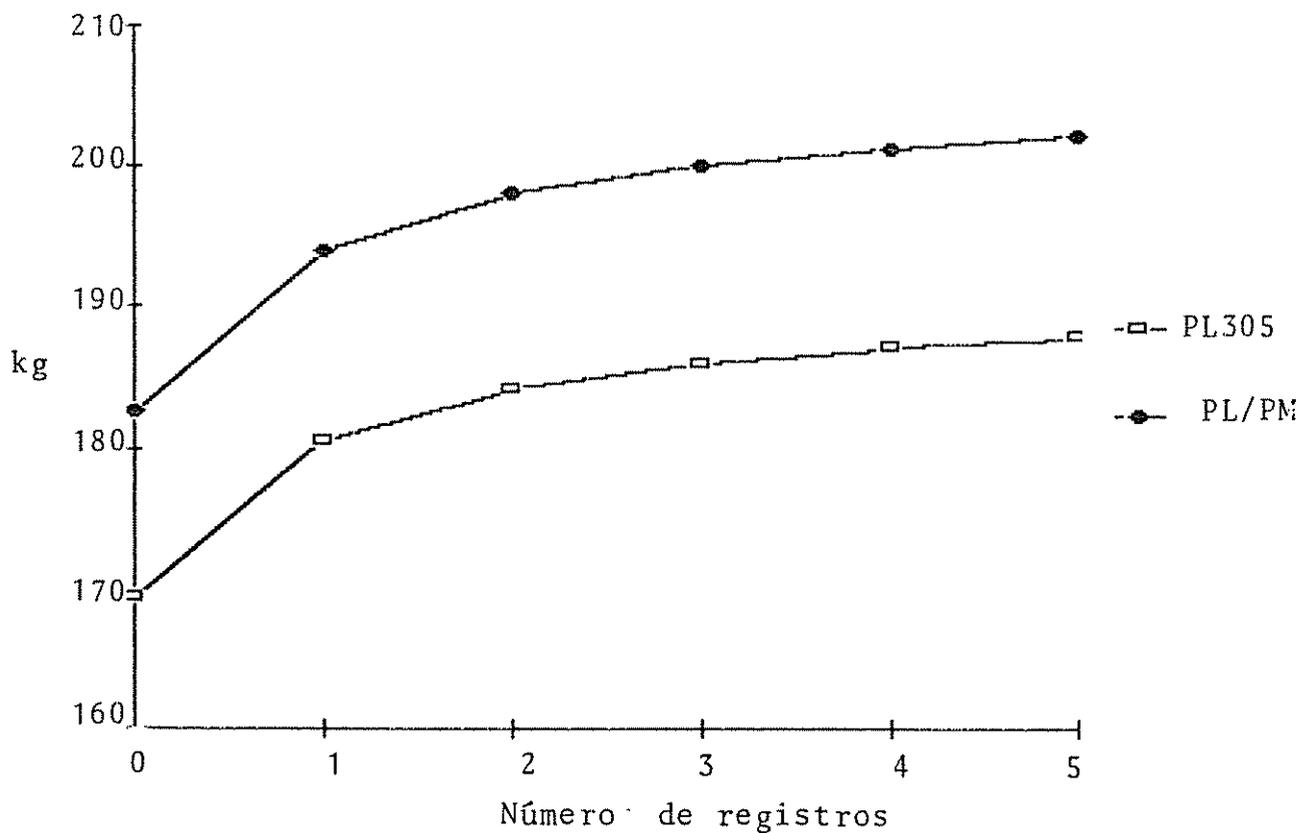


Fig. 5. Efecto de la inclusión de registros de la Madre sobre el cambio genético esperado en PL305 al seleccionar sobre PL305 o PL/PM.

Al considerar solo una fuente de información adicional, como la madre o las medias hermanas, el coeficiente de correlación entre el índice y su genotipo incrementa por 0,05. Este equivale a 10% más que seleccionando en base a la información del individuo. En la Figura 6 se puede observar la importancia de un registro de medias hermanas paternas en el juzgamiento genético de la vaca. Todo lo anterior demuestra claramente la efectividad de un índice de selección que además de considerar la información del individuo, también considera información proveniente de la madre y las medias hermanas paternas de este animal. Ahora bien, si se pretende evaluar un animal sin considerar su propia información, bajo la situación descrita, el índice de selección sería menos eficiente que la selección individual. En otras palabras habrá reducción en r_{IT} , de 0,05 al usar PL305 y de 0,03 al considerar PL/PM en la selección.

La Figura 7 compara los cambios genéticos bajo esta metodología ($I=0,23V + 0,33MHP + 0,19M$, $r_{IT}=0,64$) en relación a la que se obtendría bajo selección directa. Excepto para producción de proteína, en todas las demás características de rendimiento el CGE mejora notablemente, mientras que las características de porcentaje siguen sin mostrar una respuesta de importancia.

La Figura 8 compara los cambios genéticos esperados en PL305 al seleccionar para PL/PM en base a un índice que utiliza como fuentes de información cinco registros de la madre, un registro de cada una de 10 medias hermanas paternas conjuntamente con un registro de la candidata. El índice correspondiente generado fue $IS_1 = 0,24V + 0,33MHP + 0,19M$. El cambio genético esperado en PL305 obtenido con el índice anterior fue comparado con aquel esperado si la selección fuese hecha mediante selección individual empleando $IS_2 = 0,29PL/PM$. En la Figura 8 es evidente que el índice para PL/PM utilizando diferentes fuentes de información contaba con respuestas

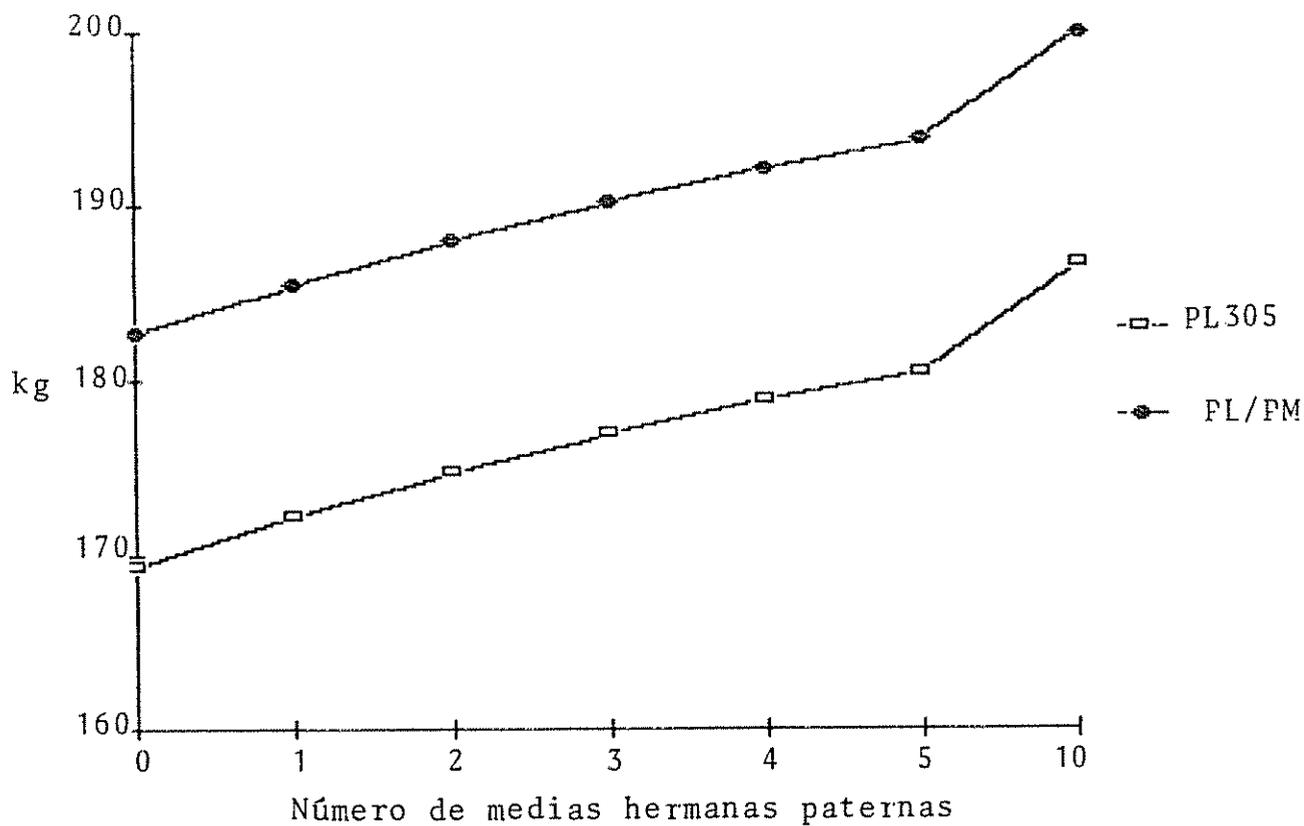


Fig. 6. Efecto del número de medias hermanas paternas (con un registro) sobre el cambio genético esperado por generación de selección en PL305 al seleccionar sobre PL305 o PL/PM.

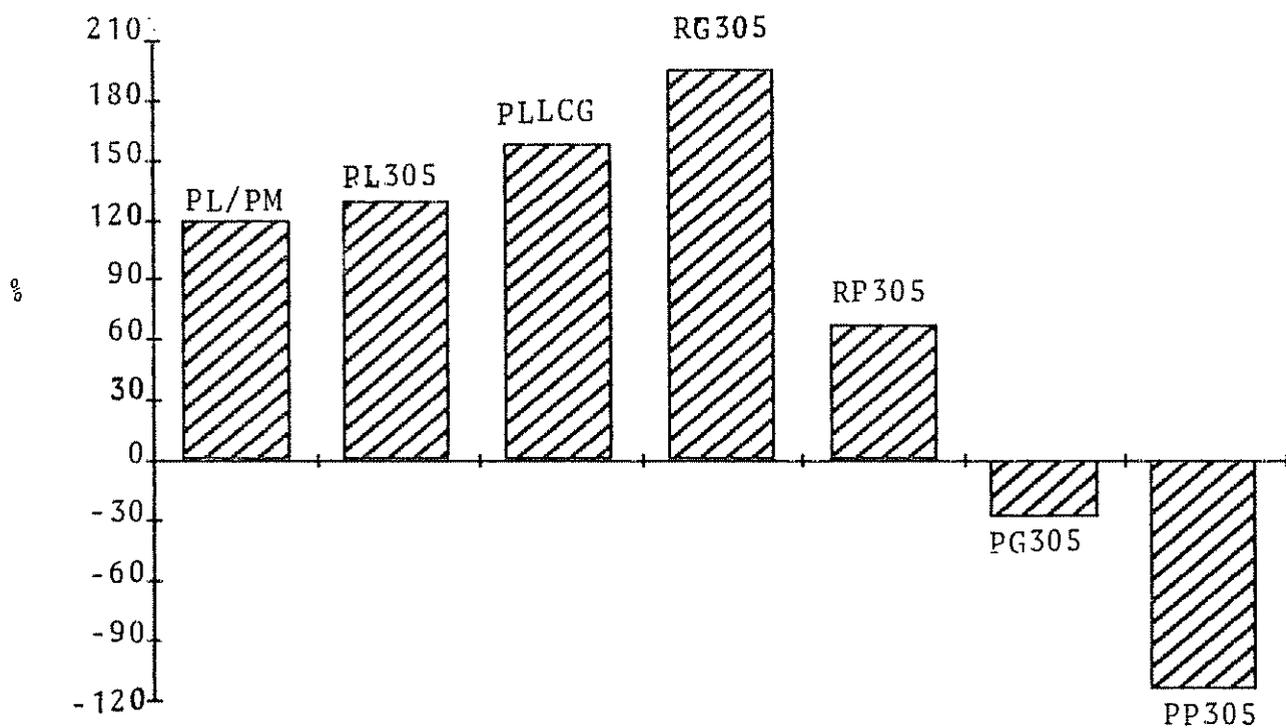


Fig. 7. Cambio genético esperado (CG) expresado como una proporción del CG directo en las distintas características estudiadas producto de seleccionar en base a un índice ($I = 0,24V + 0,33MHP + 0,19M$).

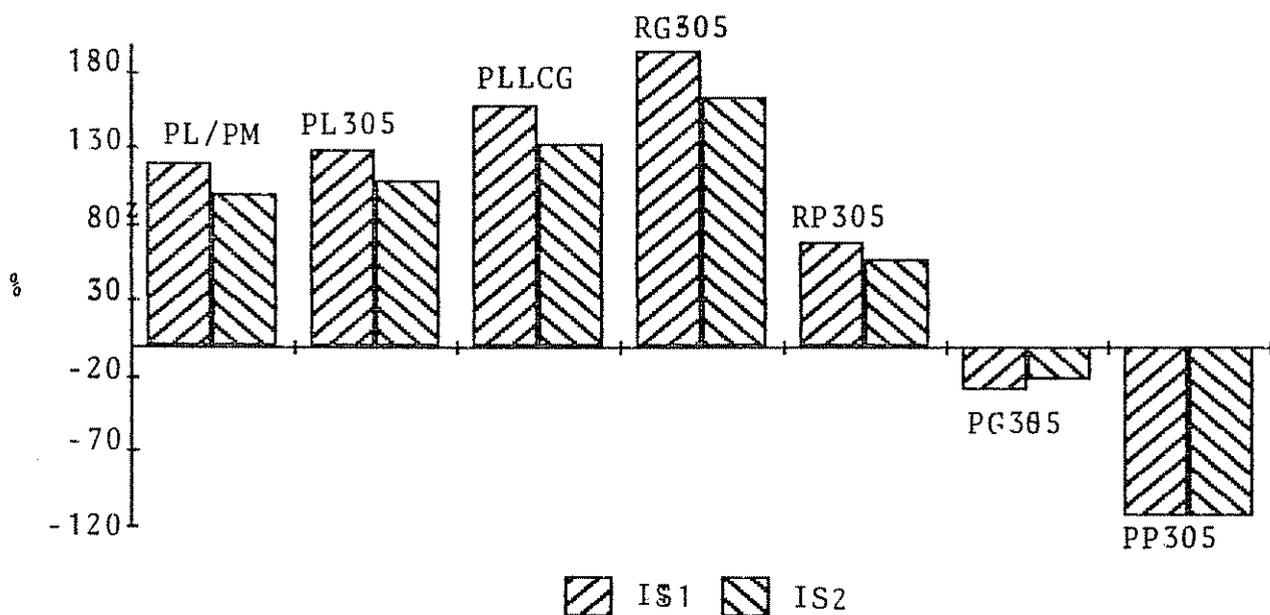


Fig. 8. Cambio genético esperado (CG) expresado como una proporción del CG directo en las distintas características estudiadas al seleccionar en base a IS1 o IS2.

genéticas esperadas mayores que la selección individual. Esta mejoría no es solo para PL305, sino que también para las demás características, con excepción a los cambios negativos esperados en PG305 y PP305. Esto es en realidad lo que se habría concluido por Hazel y Lush (1942) en cuanto a la eficiencia del índice, aunque ellos consideraron diferentes características en el índice. Los cambios en las características de % son muy similares en ambos modelos de selección.

Por otro lado, los Cuadros 23 y 24 también muestran que al aumentar el número de registros del individuo la r_{IT} crece en forma acelerada, independientemente de quienes lo acompañan. En cambio, al aumentar el número de registros de la madre o de las medias hermanas paternas, el incremento logrado en r_{IT} es pequeño (Cuadros 23 y 24). En presencia de tres registros del individuo, la información proveniente de la madre y de las medias hermanas parecen no jugar ningún papel en la evaluación genética del candidato a progenitor. En otras palabras, una vaca con tres lactancias debe ser seleccionada en base únicamente a su propia información.

4.4.3 SELECCION CONSIDERANDO UN INDICE CON DISTINTAS CARACTERISTICAS EN EL INDIVIDUO.

Registros de producción de leche (PL305, PL/PM o PLLCG), producción de los constituyentes de la leche (RG305 o RP305) o % de los constituyentes (PG305 o PP305) fueron considerados simultáneamente en un índice.

El Cuadro 25 presenta las respuestas genéticas que resultarían en cada una de las características si se aplicara selección sobre PL305, en combinación con distintas características de información (RG305 o PG305, RP305 o PP305). El Cuadro 26 presenta los mismos resultados, pero cuando la selección es aplicada considerando PL/PM. En el Cuadro 25 puede observarse

que el cambio en PL305 varió desde 171,88 kg cuando la característica de información fue la producción de proteína, hasta 214,42 kg cuando el índice consideró el RG305 y PP305 como características de información. Tales valores son superiores al 169,43 kg que se obtuvo bajo selección individual, pero solo ligeramente superior al que se obtendría considerando información de los parientes (204,44 kg). Al considerar PL/PM como característica a mejorar, la respuesta correlacionada en PL305 estuvo entre 184,73 kg al usar RP305 como información y 207,45 kg al emplear la producción de grasa y el % de proteína como coadyuvantes. Para este caso, también la respuesta fue superior a la selección individual para PL/PM, pero comparado con los cambios esperados al usar un índice generado con información de los parientes fueron muy similares. Es de hacer notar aquí, que la superioridad que venía mostrando la PL/PM como criterio de selección para mejorar la producción de leche no es tan manifiesta ahora. Si se comparan los Cuadros 25 y 26 podrá notarse que los valores son muy parecidos, aunque varían en forma errática, esto es producto de la similitud de las r_{a} .

El índice de selección que considera la producción de leche como característica a mejorar y la producción de grasa y % de proteína como características de información, es el que causa las más altas respuestas en producción de leche. Sin embargo, este tipo de modelo de selección provocaría una reducción importante en el % de grasa, tal cambio es de 0,10% por generación. Es decir, si esta alternativa es usada, se esperaría que al término de una generación se esté produciendo 214,42 kg más de leche en promedio, pero con 0,10% menos en contenido de grasa. Para evitar este inconveniente se evaluó un índice de selección manteniendo constante la producción de grasa (Kempthorne y Nordskog, 1959). Sin embargo este índice, aunque fue menos detrimental para % de grasa, fue muy ineficiente para producción de leche. En cambio el índice que consideró PL/PM como característica a mejorar y RG305 y PP305 como

Cuadro 25. Cambio genético esperado (CGE)¹ en las distintas características estudiadas al seleccionar para PL305 usando distintas características de información basado en un diferencial de selección fenotípico de una desviación estándar.

Indice basado en					CGE para rendimientos(kg)					CGE para %	
PL305 ²	RG305	RP305	PG305	PP305	PL/PM	PL305	PLLCG	RG305	RP305	PG305	PP305
0,76 ³	-11,80				2,64	210,31	167,79	5,98	5,35	-0,0967	-0,0035
0,33 ³		-2,41			2,27	171,88	143,91	5,35	2,57	-0,0339	-0,0042
0,27 ³			-106,63		2,22	175,26	139,15	4,62	3,69	-0,0715	-0,0043
0,27 ³				-2094,36	2,44	181,89	155,73	5,58	3,23	-0,0498	-0,0050
0,77 ³	-11,74	-0,24			2,65	210,33	167,79	6,01	5,28	-0,0961	-0,0036
0,73 ³	-10,98			-1349,50	2,75	214,42	173,49	6,24	5,12	-0,0983	-0,0043
0,32 ³		-2,28	-104,39		2,30	177,39	140,51	4,97	2,94	-0,0669	-0,0048
0,26 ³			-1843,07	-68,49	2,43	183,99	152,03	5,28	3,44	-0,0689	-0,0052

¹/ Unidades/generación de selección

²/ Genotipo a mejorar

³/ Coeficiente de ponderación de la característica

Cuadro 26. Cambio genético esperado (CGE) para las distintas características estudiadas al seleccionar sobre PL/PM usando distintas características de información basado en un diferencial de selección fenotípico de una desviación estándar.

Indice basado en					CGE para rendimientos(kg)					CGE para %	
PL/PM	RG305	RP305	PG305	PP305	PL/PM	PL305	PLLCG	RG305	RP305	PG305	PP305
0,48 ²	-0,06				2,33	204,23	175,15	6,18	3,78	-0,0552	-0,0056
0,36 ²		-0,04			2,33	184,73	160,31	6,00	1,98	-0,0258	-0,0059
0,29 ²			-0,99		2,22	187,33	156,14	5,28	3,37	-0,0578	-0,0055
0,28 ²				-34,29	2,43	191,90	168,89	6,06	2,89	-0,0470	-0,0064
0,49 ²	-0,05	-0,02			2,34	202,88	174,20	6,30	3,25	-0,0501	-0,0059
0,44 ²	-0,05			-30,83	2,52	207,45	180,53	6,48	3,42	-0,0621	-0,0066
0,36 ²		-0,04	-0,95		2,27	189,11	158,11	5,74	2,27	-0,0496	-0,0063
0,28 ²			-0,31	-33,17	2,43	192,96	167,93	5,97	2,97	-0,0536	-0,0064

1/ Unidades/generación de selección

2/ Genotipo a mejorar

3/ Coeficiente de ponderación de la característica

información, aunque mostró un menor cambio en PL305 (207 vs 214), el cambio en % de grasa fue de solo -0,06%.

El Cuadro 27 presenta los cambios esperados en las distintas características al seleccionar sobre los constituyentes de la leche. Es evidente que esta alternativa de selección es muy ineficiente comparada con cualquiera de las otras alternativas de selección.

En este mismo estudio se evaluó el efecto de ponderar económicamente dos características en un mismo índice (PL305 y PG305 por ejemplo), pero los resultados nunca fueron mejores que las dos últimas alternativas ya discutidas.

En el Cuadro 28 se presentan los índices de selección más promisorios surgidos del presente estudio, las respuestas genéticas esperadas producto de usar tales índice son mostrados en forma comparativa en la Figura 9. En esta Figura se evidencia la superioridad del modelo de selección que considera información de los parientes. Además una ventaja adicional de esta alternativa es que es menos detrimental para los % de los constituyentes de la leche.

Cuadro 27. Cambio genético esperado (CGE) en las distintas características estudiadas al seleccionar sobre grasa o proteína basado en un diferencial de selección fenotípico de una desviación estándar.

Indice basado en				CGE para rendimientos(kg)			CGE para % (%)			
RG305	RP305	PG305	PP305	PL/PM	PL305	PLLCG	RG305	RP305	PG305	PP305
0,15 ²	-0,05			1,42	101,60	91,67	3,45	0,29	-0,0192	-0,0035
0,12 ²			-91,10	1,93	134,44	122,41	4,45	1,41	-0,0217	-0,0053
-0,23	0,56 ²			0,49	65,62	54,16	0,14	6,91	-0,0698	0,0020
	0,29 ²	-4,04		1,35	123,00	96,59	1,96	5,73	-0,0808	-0,0015
	0,00	0,33 ²		-0,88	-83,10	-39,42	-0,15	-3,21	0,1441	0,0032
		0,33 ²	0,11	-0,60	-57,55	-16,17	0,38	-1,86	0,1392	0,0032
0,00			0,14 ²	-1,86	-126,08	-115,54	-4,29	-1,19	0,0306	0,0055
		0,00	0,12 ²	-1,20	-82,06	-60,95	-2,00	-1,09	0,0922	0,0048

^{1/} Unidades/generación de selección

^{2/} Genotipo a mejorar

^{3/} Coeficiente de ponderación de la característica

Cuadro 28. Indices de selección más eficientes surgidos del presente estudio.

$$IS_1 = 0,24(F_{\downarrow}) + 0,33(F_{MHP}) + 0,19(F_M)$$

$$IS_2 = 0,29(F_{\downarrow})$$

$$IS_3 = 0,44(PL/PM) - 0,05(RG305) - 30,83(PP305)$$

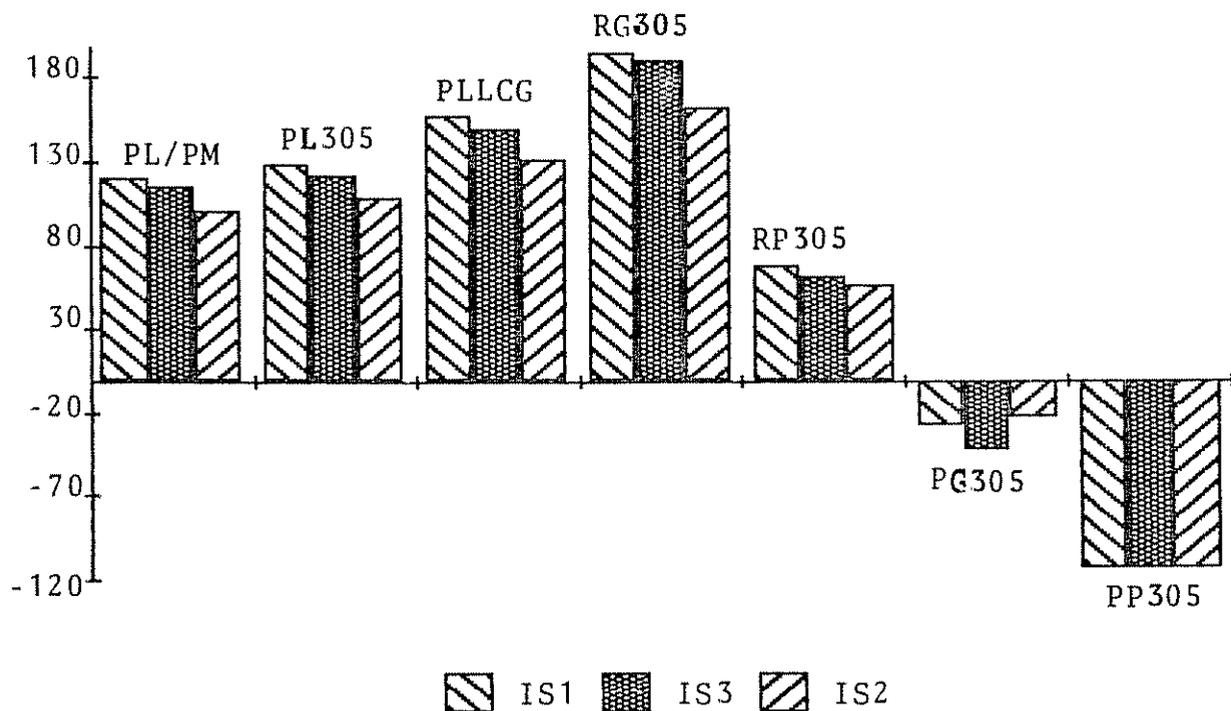


Fig. 9. Cambio genético esperado (CG) expresado como una proporción del CG, directo en las distintas características estudiadas al seleccionar en base a IS1, IS2 o IS3.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, donde se analizaron 4.018 lactancias de Criollo, Jersey y cruces colectados durante más de 35 años con el objetivo de estimar parámetros genéticos y estudiar la eficiencia de algunos índices de selección, se pueden generar las siguientes conclusiones y recomendaciones.

- 1) En las producciones por número de parto, para todas las características, fue evidente que la Criolla tiene mayor persistencia que los otros grupos raciales, como Jersey y Criollo x Jersey.
- 2) A excepción de % de proteína, todas las restantes características pueden ser sometidas a selección individual y esperar una respuesta genética sustancial por generación, en vista de sus relativamente altos valores de heredabilidad.
- 3) Parece ser que PL/PM es una de las características promisorias que tiene la capacidad de reflejar las condiciones de manejo y además, es heredable.
- 4) En las condiciones de producción del hato lechero del CATIE es necesario considerar más de una característica en un programa de selección. Esto es debido a las distintas asociaciones genéticas, en magnitud y dirección, entre las características estudiadas.
- 5) Los índices de selección más eficientes surgidos del presente estudio fueron aquellos que consideran la producción de leche por kg de peso metabólico al parto. De estos el índice que utiliza la PL/PM medido en la vaca, sus medias hermanas paternas y la madre de la vaca resultó ser el mejor, tanto por el cambio genético que provoca en PL305

como por el reducido cambio negativo que causa en el % de grasa.

- 6) En aquellos casos donde hubo correlación genética negativa se evaluó un índice de selección restringido, pero resultaron ser menos eficiente que el índice antes señalado.
- 7) Se recomienda que la estrategia de selección en el hato lechero considere PL/PM a través de un índice como el que se sugiere aquí.
- 8) Sin embargo, todas estas eficiencias deben ser relacionadas con componentes de reproducción bajo las condiciones de producción actual.

6. LITERATURA REVISADA

- ABUBAKAR, B.Y.; McDOWELL, R.E.; VAN VLECK, L.D. 1986. Genetic evaluation of Holsteins in Columbia. *Journal of Dairy Science*(EE.UU) 69(4):1081-1086.
- ADKINSON, R.W.; ROMAN, J.; WILCOX, C.J.; MARTIN, F.G. 1974. Correlaciones genéticas de producción de leche en Ecuador. Memoria. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. México. 9:74-75.
- ALBA, J. DE. 1985. El Criollo lechero en Turrialba. Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza. Boletín técnico No. 15. 59 p.
- ALBA, J. DE; KENNEDY, B.W. 1985. Milk production in the Latin-American milking criollo and its crosses with the Jersey. *Animal Production*(G.B.) 41(2):143-150.
- ALVAREZ, A., J.R. 1975 Evaluación de 25 años de selección en un hato lechero del trópico húmedo. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 58 p.
- AMBLE, V.N.; KRISHNAN, K.S.; SRIVASTAVA, J.S. 1958. Statistical studies on breeding data of Indian herds of Dairy cattle. *Indian Journal of Veterinary Science and animal husbandry*(India) 28(2):33-92.
- ANDERSON, R.D.; EVERETT, R.W.; VAN VLECK, L.D. 1978. Economic analysis of protein testing for selection. *Journal of Dairy Science*(EE.UU) 61(1):102-108.
- ANGULO, R. 1980. Fertilización con nitrógeno y potasio de la asociación yuca y maíz en un inceptisol de Turrialba. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 159 p.
- BATEMAN, J.V. 1970. Nutrición animal. Manual de métodos analíticos. México. Edit. Herrero Hermanos, Sucesores, S.A. 468 p.
- BECKER, W.A. 1984. Manual of quantitative genetics. 4 ed. Washington, D.C. Academic Enterprises Pullman. 190 p.
- BODISCO, V.; VERDE, O.; WILCOX, C.J. 1971. Producción y reproducción de un lote de ganado Pardo suizo. Memoria Asociación Latinoamericana de Producción Animal. México. 6:81-95.
- BUTCHER, K.R.; SARGENT, F.D.; LEGATES, J.E. 1967. Estimates of genetic parameters for milk constituents and yields. *Journal of Dairy Science*(EE.UU) 50(2):185-193.

- CAMPBELL, J.R.; MARSHALL, R.T. 1975. The science of providing milk for man. New York, EE.UU. McGraw-Hill. 801 p.
- DEATON, O.W.; MCGILLIARD, L.D. 1965. Weighting information from relatives to select for milk in Holsteins. Journal of Dairy Science(EE.UU) 48(2):365-369.
- FALCONER, D.S. 1970. Introducción a la genética cuantitativa. Trad. por Fidel Marquez Sanchez. México D.F. Edit. CECSA. 430 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 1985. Anuario de producción. Roma, Italia. 331 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). 1972. Anuario de producción. Roma, Italia. 600 p.
- GACULA, M.C.; GAUNT, S.N.; DAMON, R.A. 1968. Genetic and environmental parameters of milk constituents for five breeds. II. some genetic parameters. Journal of Dairy Science(EE.UU) 51(3):438-444.
- GAUNT, S.N. 1973. Genetic and environmental changes possible in milk composition. Journal of Dairy Science(EE.UU) 56(2):270-278.
- GAUNT, S.N.; WILCOX, C.J.; FARTHING, B.R.; THOMPSON, N.R. 1968. Genetic interrelationships of Holstein milk composition and yield. Journal of Dairy Science(EE.UU) 51(9):1396-1402.
- GIBSON, J.P. 1987. The options and prospects for genetically altering milk composition in Dairy Cattle. Animal Breeding Abstracts(G.B.) 55(4):231-243.
- HARDIE, A.R.; JENSEN, E.L.; TYLER, W.J. 1978. Genetic and economic implications of single trait selection for protein and solids-not-fat. Journal of Dairy Science (EE.UU) 61(1):96-101.
- HARGROVE, G.L.; MBAH, D.A.; ROSENBERGER, J.L. 1981. Genetic and environmental influences on milk and milk component production. Journal of Dairy Science(EE.UU) 64(7): 1593-1597.
- HARVEY, W.R. 1960. Least-Squares analysis of data with unequal subclass numbers. United States Department of Agriculture. 157 p.
- HARVEY, W.R. 1970. Estimation of variance and covariance components in the mixed model. Biometrics 26(3):485-504.

- HARVEY, W.R. 1987. User's guide for LSMLMW pc-1 Version. Mixed model least-squares and maximum likelihood computer program.
- HARVEY, W.R.; LUSH, J.L. 1952. Genetic correlation between type and production in Jersey Cattle. *Journal of Dairy Science*(EE.UU) 35(3):199-213.
- HAZEL, L.N. 1943. The genetic basis for constructing-selection indexes. *Genetics*(EE.UU.) 28(6):476-490.
- HAZEL, L.N.; LUSH, J.L. 1942. The efficiency of three methods of selection. *Journal of Heredity*(EE.UU.) 33(11):393-399.
- HENDERSON, C.R. 1963. Selection index and expected genetic advance. IN *Statistical Genetics and Plant Breeding*(ed. W.D. Hanson and H.F. Robinson) pp. 141-163. Pub. 982. National Academy of Sciences-National Research Council, Washington, D.C.
- HENDERSON, C.R.; QUAAS, R.L. 1976. Multiple trait evaluation using relatives records. *Journal of Animal Science* (EE.UU) 43(6):1118-1197. *
- HERMAS, S.A.; YOUNG, C.W.; RUST, J.W. 1987. Genetic relationships and additive genetic variation of productive and reproductive traits in Guernsey Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*(EE.UU) 70(6):1252-1257.
- JAGER, D.; KENNEDY, B.W. 1987. Genetic parameters of milk yield and composition and their relationships with alternative breeding goals. *Journal of Dairy Science* (EE.UU) 70(6):1258-1266.
- KEMPTHORNE, O.; NORDSKOG, A.W. 1959. Restricted selection indices. *Biometrics*. 15(1):10-19.
- KENNEDY, B.W. 1982. Reducing fat in milk and dairy products by Breeding. *Journal of Dairy Science*(EE.UU) 65(3):443-449.
- KON, S.K. 1972. La leche y los productos lácteos en la nutrición humana. Roma Italia. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. 90 p. Colección FAO: Estudios sobre nutrición No.27.
- LEGATES, J.E.; LUSH, J.L. 1954. A selection index for fat production in dairy cattle utilizing the fat yields of the cow and her close relatives. *Journal of Dairy Science*(EE.UU) 37(6):744-753.

- LEON VITERI, V.G. 1979. Evaluación de la producción de leche y reproducción en un hato de varios grupos raciales en El Salvador. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 81 p.
- LOBO, R.B.; DUARTE, F.A.M.; WILCOX, C.J. 1979. Informacoes sobre alguns aspectos reproductivos e produtivos na raza Pitanqueiras. Memoria. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. México. 14:140.
- MAGOFKE S., J.C. 1964. Estimación del mejoramiento genético en producción de leche, grasa y largo de lactancia en el ganado criollo lechero de Turrialba. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, IICA. 110 p.
- MALTOS ROMO, J. 1968. Genetic and environmental trends of growth and production in experimental herds under humid tropical conditions in Costa Rica. Ph.D. Thesis. Texas, EE.UU.; Texas A & M University. 108 p.
- MARTINEZ GONZALEZ, J.C. 1986. Mortalidad de hembras, desde el nacimiento a primer parto en bovinos de diferentes genotipos lecheros, bajo condiciones de Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 132 p.
- MARTINEZ Z., A.G. 1979. Análisis productivo y económico de un hato de ganado lechero en el Departamento de San Miguel. El Salvador. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, Programa Universidad de Costa Rica/ CATIE. 80 p.
- MATHER, R.E.; LAL, P.; OLESKIE, E.T. 1969. Repeatability and heritability of milk yield and component percentages in three dairy breeds. (sumario). Journal of Dairy Science (EE.UU) 52(6):926.
- MBAH, D.A.; HARGROVE, G.L. 1982. Genetic and economic implications of selecting for milk protein. Journal of Dairy Science(EE.UU) 65(3):632-637.
- MCDOWELL, R.E.; CAMOENS, J.K.; VAN VLECK, L.D.; CHRISTENSEN, E.; CABELLO FRIAS, E. 1976. Factors affecting performance of Holsteins in subtropical regions of México. Journal of Dairy Science(EE.UU) 59(4):722-729.
- MCGILLIARD, M.L.; FREEMAN, A.E. 1976. Predicting daughter milk production from Dam index. Journal of Dairy Science(EE.UU) 59(6):1140-1146.
- MORALES A., J.C. 1972. Estudio de las características de reproducción y producción en un hato Guernsey en la zona alta de Costa Rica. Tesis Mag. Sc., Turrialba, Costa Rica, Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 46 p.

- NEGRON, A.; DEATON, O.W.; MUÑOZ, H. 1976. Producción de leche en la zona húmeda de Costa Rica. Memoria. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. México. 11:52.
- NUNEZ, R.D.; REGALADO, P.R.; TEWOLDE, A. 1983. Evaluación genética de producción de leche en un hato Holstein.(Sumario). Producción Animal Tropical(R.D.) 8(1):74.
- PEROZ, O.T.; DEATON, O.; MUNOZ. H. 1974. Producción de un hato Holstein en zona de altura de Guatemala. Memoria. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. México. 9:70.
- PETERSON, R.G.; NASH, T.E.; SHELFORD, J.A. 1982. Heritabilities and genetic correlations for serum and production traits of lactating Holsteins. Journal of Dairy Science(EE.UU) 65(8):1556-1561.
- POWELL, R.L. 1978. A Procedure for including the dam and maternal grandsire in USDA-DHIA cow indexes. Journal of Dairy Science(EE.UU) 61(6):794-800.
- REEVE, E.C.R. 1955. The variance of the genetic correlation coefficient. Biometrics(EE.UU.) 11(3):357-374.
- RODRIGUEZ, F.; WILCOX, C.J.; ROMAN, J.; MARTIN, F. 1976. Efecto de la edad sobre la producción de leche en Holsteins. Memoria. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. México. 11:47.
- ROMAN, H.; CABELLO, E.; WILCOX, C.J. 1976. Algunos factores relacionados con producción de leche en clima tropical. Memoria. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. México. 11:52.
- RONNINGEN, K.; VAN VLECK, L.D. 1985. Selection index theory with practical applications. IN world Animal Science. General and quantitative genetics. Ed. by A.B. Chapman. New York, B.V. p 187-225.
- SALGADO FONSECA, D. 1986. Estimación de ganancia genética para producción de leche en un hato de ganado Holstein. Tesis Licenciatura Managua, Nicaragua. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias. 66 p.
- SCHNEEBERGER, C.P.; WELLINGTON, K.E.; McDOWELL, R.E. 1982. Performance of Jamaica Hope cattle in commercial dairy herds in Jamaica. Journal of Dairy Science(EE.UU) 65(7):1364-1371.

- SEQUEIRA SEQUEIRA, R. 1986. Evaluación genética de producción láctea y reproducción en ganado suizo y cruce bajo condiciones de trópico seco en Nicaragua. Tesis Mag. Sci. Turrialba, C.R., Programa Universidad de Costa Rica/CATIE. 126 p.
- SEYKORA, A.J.; MCDANIEL, B.T. 1983. Heritabilities and correlations of lactation yields and fertility for Holsteins. *Journal of Dairy Science*(EE.UU) 66(7):1486-1493.
- SMITH, H.F. 1936. A Discriminant function for plant selection. *Ann. Eugenics.* 7:240-250.
- TABLER, K.A.; TOUCHBERRY, R.W. 1959. Selection indices for milk and fat yield of Holsteins Friesian dairy cattle. *Journal of Dairy Science*(EE.UU) 42(1):123-126.
- TABLER, K.A.; TOUCHBERRY, R.W. 1955. Selection indices based on milk and fat yield, fat per cent, and type classification. *Journal of Dairy Science*(EE.UU) 38(10):1155-1163.
- TEWOLDE, A. 1986. Brief review of current and desirable national services for dairy cattle improvement.
- TEWOLDE, A. 1987. Identificación y selección de hembras utilizando registros en fincas. s.n.t. 14 p. (Presentado en: Seminario Internacional sobre producción de leche en el trópico, organizado por GTZ-MAG-UNA y el CATIE del 2-4 de marzo, 1987. San José, Costa Rica).
- THOMPSON, N.R.; LOGANATHAN, S. 1968. Composition of cows' milk. II. Genetic influences. *Journal of Dairy Science* (EE.UU) 51(12):1933-1935.
- TONG, A.K.W.; KENNEDY, B.W.; MOXLEY, J.E. 1979. Heritabilities and genetic correlations for the first three lactations from records subject to culling. *Journal of Dairy Science*(EE.UU) 62(11):1784-1790.
- TURNER, H.N.; YOUNG, S.S.Y. 1969. Quantitative genetics in Sheep breeding. N.Y., EE.UU. Cornell University Press. 332 p.
- VACCARO, R.; PALLETE, A.; CORDERO, A. 1979. Parámetros genéticos de la producción de leche, grasa y duración de la lactancia. Memoria. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. México. 14:145.
- VAN VLECK, L.D. 1978. Breeding for increased protein content in milk. *Journal of Dairy Science*(EE.UU) 61(6):815-824.

- VAN VLECK, L.D. 1979. Notes on the theory and application of selection principles for the genetic improvement of animals. 2 ed. N.Y., EE.UU. Department of Animal Science, Cornell University. 257 p.
- VERDE, O.; BODISCO, V. 1976. Tendencia genética para producción de leche de un hato Venezolano. Memoria. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. México. 11:45.
- VERDE, O.G.; WILCOX, C.J.; KOGER, M.; PLASSE, D.; MARTIN, F.G. 1970. Estimation of several genetic parameters for milk yield in three Venezuelan herds.(Sumario). Journal of Dairy Science(EE.UU) 53(5):674.
- WILCOX, C.J. 1987. Quantitative genetics:Basic concepts. s.n.t. 6 p. (Presentado en: Seminario Internacional sobre producción de leche en el trópico, organizado por GTZ-MAG-UNA y el CATIE del 2-4 de marzo,1987. San José, Costa Rica).
- WUNDER, W.W.; MCGILLIARD, L.D. 1964. Heritabilities and genetic correlations for components of milk in Holsteins and Guernseys. (sumario). Journal of Dairy Science(EE.UU) 47(suppl.):700.
- YOUNG, C.W.; HILLERS, J.K.; FREEMAN, A.E. 1986. Production, consumption, and pricing of milk and its components. Journal of Dairy Science(EE.UU) 69(1):272-281.
- YOUNG, S.S.Y. 1961. A further examination of the relative efficiency of three methods of selection for genetic gains under less restricted conditions. Genet. Res 2:106-121.

APENDICE

Cuadro 1A. Número de sementales(NS), número de vacas(NH) y número de registros(NR) por raza codificados para el presente estudio¹.

Raza	Código	NS	NH ²	NR ³
Desconocido	00	0	38	82
Criollo	01	87	655	2.140
Jersey	02	81	358	1.432
Pardo suizo	17	4	28	111
Ayshire	18	15	84	394
Durham	19	17	75	220
Rojo danés	20	3	39	105
Holstein rojo	21	3	5	7
Otros ⁴	13	7	68	200
TOTAL		217	1.350	4.691

1/ Registros originales

2/ Número de hijas producidas por el grupo de sementales

3/ Número de registros producidos por el grupo de vacas

4/ Incluye Sindhi-Suizo, Criollo y Romo.

Cuadro 2A. Número de registros según la edad al parto en el Hato leche-ro del CATIE durante los años 1951-1987.

Edad al parto(años)	N*
2	202
3	1.078
4	831
5	617
6	480
7	368
8	307
9	223
10	194
11	148
12	98
13	65
14	40
15	22
16	11
17	4
18	1
19	2
TOTAL	4.691

* Registros originales

Cuadro 3A. Número de registros según el número de parto en el Hato lechero del CATIE durante los años 1951-1987.

Número de parto	N*
1	1.344
2	848
3	624
4	483
5	366
6	294
7	221
8	175
9	132
10	89
11	55
12	34
13	15
14	7
15	3
16	1
TOTAL	4.691

* Registros originales

Cuadro 4A. Número de registros según el tipo de lactancia en el Hato lechero del CATIE durante los años 1951-1987.

Tipo de lactancia	N*
Desconocido	33
Aparentemente normal	4.320
Afectada por mastitis	81
Originada por aborto o natimorto	75
Lactancia incompleta	127
Un solo ordeño	15
Afectada por experimento	40
TOTAL	4.691

* Registros originales

Cuadro 5A. Análisis de varianza de mínimos cuadrados, sintetizado a partir de distintos modelos, para producción de leche ajustada a 305 días de lactancia.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio	Valor de F	
Raza vaca(RV)	9	5.351.713,46	21,93	*
Año parto(AP)	31	2.881.029,11	11,81	*
Número parto(NP)	10	16.372.222,82	67,10	*
Manejo(M)	2	3.281.156,81	13,45	*
Epoca parto(EP)	1	579.564,35	2,38	NS
RV*AP	190	423.288,33	1,73	*
RV*NP	83	595.610,03	2,44	*
RV*EP	9	546.417,31	2,24	*
AP*NP	269	368.337,67	1,51	*
AP*EP	31	341.106,44	1,40	NS
NP*EP	10	446.669,29	1,83	NS
ERROR	3.372	243.990,72		

* = (P < 0,05)

NS = No significativo

Cuadro 6A. Medias de mínimos cuadrados y error estándar para producción de leche ajustado a 305 días y factores de ajuste (F) por número de parto en cada grupo racial.

Número de parto	Criollo	F	Jersey	F	F ₁	F	3/4	F	Otros	F
1	1.174,91±66,24	1,47	1.718,54±34,57	1,18	1.697,15±59,41	1,33	1.480,72±93,55	1,55	1.842,79±56,44	1,31
2	1.498,82±69,21	1,15	1.936,66±40,78	1,04	2.025,17±63,47	1,11	1.791,79±102,73	1,11	2.159,52±60,40	1,11
3	1.637,83±71,10	1,05	2.020,55±45,27	1,00	2.254,76±65,43	1,00	1.759,50±106,97	1,14	2.315,72±53,21	1,04
4	1.726,83±74,50	1,00	1.969,24±49,65	1,03	2.224,91±65,60	1,01	1.997,13±123,72	1,00	2.326,62±65,27	1,03
5	1.725,12±77,82	1,00	2.018,78±59,09	1,00	2.237,98±67,28	1,01	1.912,07±142,09	1,04	2.404,98±70,88	1,00
6	1.678,17±81,28	1,03	1.883,33±66,79	1,07	2.223,50±67,05	1,01	1.832,02±151,02	1,09	2.375,32±75,09	1,01
7	1.676,77±84,55	1,03	1.799,58±73,78	1,12	2.220,27±72,06	1,02	1.650,08±160,59	1,21	2.383,45±83,81	1,01
8	1.633,88±87,54	1,06	1.759,59±88,65	1,15	2.124,66±78,17	1,06	1.499,69±163,14	1,33	2.285,03±91,87	1,05
9	1.503,70±92,66	1,15	1.620,86±100,72	1,25	2.005,02±84,49	1,12	1.248,26±172,91	1,60	2.290,17±105,51	1,05
>10	1.511,12±105,93	1,14	1.251,51±144,10	1,61	1.991,74±91,91	1,13	1.353,21±210,50	1,48	2.158,21±129,60	1,11
PRDH.	1.526,90±64,75		1.691.47±41,01		2.072,55±39,34		1.600,06±67,61		2.219,48±62,90	

Cuadro 7A. Medias de mínimos cuadrados y error estándar para producción de leche por peso metabólico y factores de ajuste(F) por número de parto en cada grupo racial.

Número de parto	Criollo	F	Jersey	F	F ₁	F	3/4	F	Otros	F
1	16,23±0,82	1,25	25,88±0,51	1,06	24,85±0,75	1,14	24,31±2,29	1,09	24,22±0,53	1,15
2	18,89±0,86	1,08	27,50±0,60	1,00	27,32±0,82	1,04	26,30±2,24	1,01	27,14±0,62	1,03
3	19,87±0,88	1,02	27,32±0,67	1,01	28,39±0,85	1,00	24,73±2,22	1,07	27,84±0,67	1,00
4	20,31±0,91	1,00	26,00±0,73	1,06	27,33±0,85	1,04	26,54±2,21	1,00	27,43±0,70	1,02
5	20,01±0,95	1,01	26,28±0,87	1,05	26,69±0,87	1,06	24,68±2,34	1,08	27,96±0,80	1,00
6	19,33±1,00	1,05	23,67±1,00	1,16	26,58±0,88	1,07	23,78±2,59	1,12	27,11±0,88	1,03
7	19,36±1,03	1,05	23,10±1,11	1,19	25,93±0,95	1,09	20,99±2,74	1,26	26,58±1,01	1,05
8	18,66±1,07	1,09	21,34±1,28	1,29	24,87±1,04	1,14	21,44±2,82	1,24	25,99±1,14	1,08
9	17,06±1,14	1,19	20,47±1,46	1,34	23,34±1,11	1,22	18,07±2,97	1,47	25,16±1,34	1,11
>10	17,12±1,29	1,19	16,88±2,02	1,63	23,24±1,21	1,22	19,33±3,36	1,37	25,55±1,72	1,09
PROM.	18,08±0,79		22,27±0,59		25,41±0,52		22,46±1,94		26,04±0,67	

Cuadro 8A. Medias de mínimos cuadrados y error estándar para producción de leche corregida por grasa y factores de ajuste (F) por número de parto en cada grupo racial.

Número de parto	Criollo	F	Jersey	F	F ₁	F	3/4	F	Otros	F
1	1.158,58±33,20	1,52	1.818,93±37,10	1,19	1.774,54±63,31	1,37	1.478,49±111,47	1,39	1.969,55±54,45	1,28
2	1.519,81±41,01	1,16	2.069,72±43,76	1,05	2.136,93±68,58	1,14	1.851,84±116,75	1,11	2.289,69±58,72	1,10
3	1.667,14±47,43	1,06	2.167,12±48,73	1,00	2.404,10±71,34	1,01	1.805,37±122,42	1,14	2.444,22±61,78	1,03
4	1.750,58±52,51	1,01	2.088,93±53,32	1,04	2.409,34±72,42	1,01	2.049,78±138,72	1,00	2.454,51±64,00	1,02
* 5	1.764,62±60,28	1,00	2.152,57±63,43	1,01	2.403,82±74,20	1,01	1.920,03±157,96	1,07	2.511,61±69,77	1,00
6	1.688,35±64,84	1,05	1.998,51±71,67	1,08	2.429,50±74,69	1,00	1.872,16±166,73	1,09	2.484,61±74,08	1,01
7	1.668,01±70,99	1,06	1.855,54±79,17	1,17	2.392,29±80,34	1,02	1.735,63±176,73	1,18	2.491,40±83,04	1,01
8	1.623,31±78,02	1,09	1.864,89±95,13	1,16	2.224,93±87,36	1,09	1.604,85±180,03	1,28	2.399,68±91,22	1,05
9	1.484,39±82,71	1,19	1.662,91±108,1	1,30	2.137,04±94,37	1,14	1.207,31±188,99	1,70	2.388,97±105,1	1,05
>10	1.470,68±100,0	1,20	1.305,96±154,6	1,66	2.142,23±102,7	1,13	1.436,51±232,69	1,43	2.256,22±129,47	1,11
PROM.	1.527,48±34,45		1.788,22±44,02		2.223,22±44,24		1.659,47±73,79		2.334,55±61,59	

Cuadro 9A. Medias de mínimos cuadrados y error estándar para producción de grasa en kg y factores de ajuste(F) por número de parto en cada grupo racial.

Número de parto	Criollo	F	Jersey	F	F ₁	F	3/4	F	Otros	F
1	47,96±1,45	1,53	75,48±1,82	1,17	72,83±2,82	1,40	78,43±8,00	1,24	77,52±2,16	1,28
2	63,28±1,78	1,16	84,92±2,07	1,04	88,24±3,04	1,16	92,40±7,87	1,05	90,27±2,34	1,10
3	69,16±2,05	1,06	88,58±2,25	1,00	99,71±3,16	1,02	89,86±7,79	1,08	96,75±2,44	1,03
4	72,30±2,27	1,01	84,73±2,42	1,05	100,56±3,20	1,02	97,20±7,76	1,00	97,10±2,58	1,02
5	73,16±2,60	1,00	87,55±2,80	1,01	100,14±3,28	1,02	89,62±8,22	1,08	99,26±2,82	1,00
6	69,30±2,80	1,06	80,75±3,13	1,10	102,11±3,30	1,00	89,05±9,10	1,09	97,75±2,99	1,02
7	67,94±3,06	1,08	73,58±3,42	1,20	99,75±3,55	1,02	83,38±9,62	1,16	98,76±3,37	1,01
8	65,93±3,36	1,11	74,58±4,02	1,19	95,77±3,87	1,07	77,52±9,88	1,25	94,55±3,71	1,05
9	60,26±3,56	1,21	64,78±4,53	1,37	88,62±4,15	1,15	61,66±10,34	1,58	94,12±4,28	1,05
>10	59,13±4,30	1,24	50,12±6,32	1,77	89,36±4,53	1,14	69,09±11,82	1,41	89,25±5,30	1,11
PROM.	62,70±1,50		71,87±2,16		92,52±1,98		80,84±6,83		92,21±2,48	

Cuadro 10A. Medias de mínimos cuadrados y error estándar para porcentaje de grasa y factores de ajuste(F) por número de parto en cada grupo racial.

Número de parto	Criollo	F	Jersey	F	F ₁	F	3/4	F	Otros	F
1	4,58±0,06	1,01	4,38±0,04	1,02	4,37±0,07	1,07	4,36±0,11	1,01	4,23±0,04	1,03
2	4,58±0,06	1,01	4,42±0,04	1,01	4,37±0,07	1,07	4,37±0,11	1,00	4,26±0,05	1,02
3	4,52±0,07	1,02	4,47±0,05	1,00	4,46±0,07	1,05	4,39±0,11	1,00	4,32±0,05	1,00
4	4,50±0,07	1,02	4,36±0,05	1,03	4,50±0,07	1,04	4,28±0,12	1,03	4,34±0,05	1,00
5	4,61±0,08	1,00	4,46±0,06	1,00	4,54±0,07	1,03	4,17±0,13	1,05	4,31±0,06	1,01
6	4,58±0,07	1,01	4,43±0,06	1,01	4,67±0,07	1,00	4,15±0,14	1,06	4,31±0,06	1,01
7	4,47±0,07	1,03	4,28±0,07	1,04	4,48±0,08	1,04	4,31±0,15	1,02	4,34±0,07	1,00
8	4,45±0,08	1,04	4,36±0,08	1,03	4,51±0,08	1,04	4,39±0,16	1,00	4,39±0,07	0,99
9	4,50±0,08	1,02	4,15±0,09	1,08	4,45±0,09	1,05	4,08±0,16	1,08	4,32±0,08	1,00
>10	4,44±0,09	1,04	4,18±0,12	1,07	4,47±0,10	1,04	4,11±0,20	1,07	4,34±0,09	1,00
PROM.	4,53±0,06		4,34±0,04		4,49±0,05		4,26±0,08		4,32±0,05	

Cuadro 11A. Medias de mínimos cuadrados y error estándar para producción de proteína en kg y factores de ajuste (F) por número de parto en cada grupo racial.

Número de parto	Criollo	F	Jersey	F	Otros	F
1	48,72±2,32	1,42	66,51±1,83	1,12	63,45±2,05	1,46
2	58,95±2,38	1,17	74,23±1,94	1,00	79,60±2,26	1,16
3	64,15±2,47	1,08	71,92±2,11	1,03	84,59±2,35	1,09
4	68,20±2,60	1,01	70,11±2,34	1,06	84,07±2,41	1,10
5	69,06±2,79	1,00	65,51±2,85	1,13	88,36±2,72	1,05
6	65,38±3,03	1,06	63,31±3,51	1,17	88,52±3,21	1,04
7	65,79±3,28	1,05	60,28±3,83	1,23	90,91±4,18	1,02
8	58,42±3,80	1,18	63,97±4,12	1,16	90,08±5,05	1,03
9	55,87±3,77	1,24	54,50±4,91	1,36	92,36±5,55	1,00
PROM.	61,62±2,16		65,59±1,51		84,66±2,14	

Cuadro 12A. Medias de mínimos cuadrados y error estándar para porcentaje de proteína y factores de ajuste(F) por número de parto en cada grupo racial.

Número de parto	Criollo	F	Jersey	F	Otros	F
1	3,55±0,06	1,00	3,41±0,06	1,00	3,36±0,04	1,03
2	3,48±0,06	1,02	3,35±0,06	1,02	3,45±0,04	1,00
3	3,52±0,06	1,01	3,32±0,06	1,03	3,41±0,04	1,01
4	3,40±0,06	1,04	3,27±0,06	1,04	3,38±0,05	1,02
5	3,50±0,06	1,01	3,08±0,09	1,11	3,35±0,05	1,03
6	3,46±0,07	1,03	3,13±0,10	1,09	3,34±0,06	1,03
7	3,49±0,07	1,02	3,15±0,11	1,08	3,32±0,08	1,04
8	3,42±0,09	1,04	3,25±0,12	1,05	3,41±0,09	1,01
9	3,54±0,09	1,00	3,26±0,14	1,05	3,38±0,10	1,02
PROM.	3,48±0,05		3,25±0,05		3,38±0,04	

Cuadro 13A. Componentes de varianza para Padre de vaca(σ_B^2), vaca anidada en Padre($\sigma_{V/A}^2$) y el error(σ_e^2) para las distintas características estudiadas.

CARACT.	σ_B^2	$\sigma_{V/A}^2$	σ_e^2	σ_T^2
PL_PM	2,73	24,48	29,15	56,36
PL305	16.504,71	181.306,82	195.960,12	393.771,65
PLLCG	14.872,05	200.475,26	229.470,17	444.817,48
RG305	26,30	352,37	422,51	801,18
RP305	25,85	177,37	152,75	355,97
PG305	0,0096	0,0669	0,1013	0,1778
PP305	0,0000 ¹	0,0002	0,0008	0,0010

1/ El valor verdadero es 0,00003616

2/ $\sigma_T^2 = \sigma_B^2 + \sigma_{V/A}^2 + \sigma_e^2$

Cuadro 14A. Ejemplo de cálculo de un índice de selección que considera X_1 como característica a seleccionar y X_2 como característica de información.

Índice propuesto

$$I = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

Ecuaciones normales simultaneas para la obtención de los β 's

$$\beta_1 \text{Var}(F_1) + \beta_2 \text{Cov}(F_1, F_2) = \text{Var}(G_1)$$

$$\beta_1 \text{Cov}(F_1, F_2) + \text{Var}(F_2) = \text{Cov}(G_1, G_2)$$

Respuesta genética directa (CGD)

$$\text{CGD} = D\sigma_I$$

$$\sigma_I^2 = \beta_1^2 \text{Var}(F_1) + \beta_2^2 \text{Var}(F_2) + 2\beta_1\beta_2 \text{Cov}(F_1, F_2)$$

Respuesta genética correlacionada (CGC)

$$\text{CGC}(X_2) = \frac{\text{Cov}(G_2, I)}{\sigma_I} D = \frac{\beta_1 \text{Cov}(G_1, G_2) + \beta_2 \text{Var}(G_2)}{\sigma_I} D$$

$$\text{CGC}(X_3) = \frac{\text{Cov}(G_3, I)}{\sigma_I} D = \frac{\beta_1 \text{Cov}(G_1, G_3) + \beta_2 \text{Cov}(G_2, G_3)}{\sigma_I} D$$

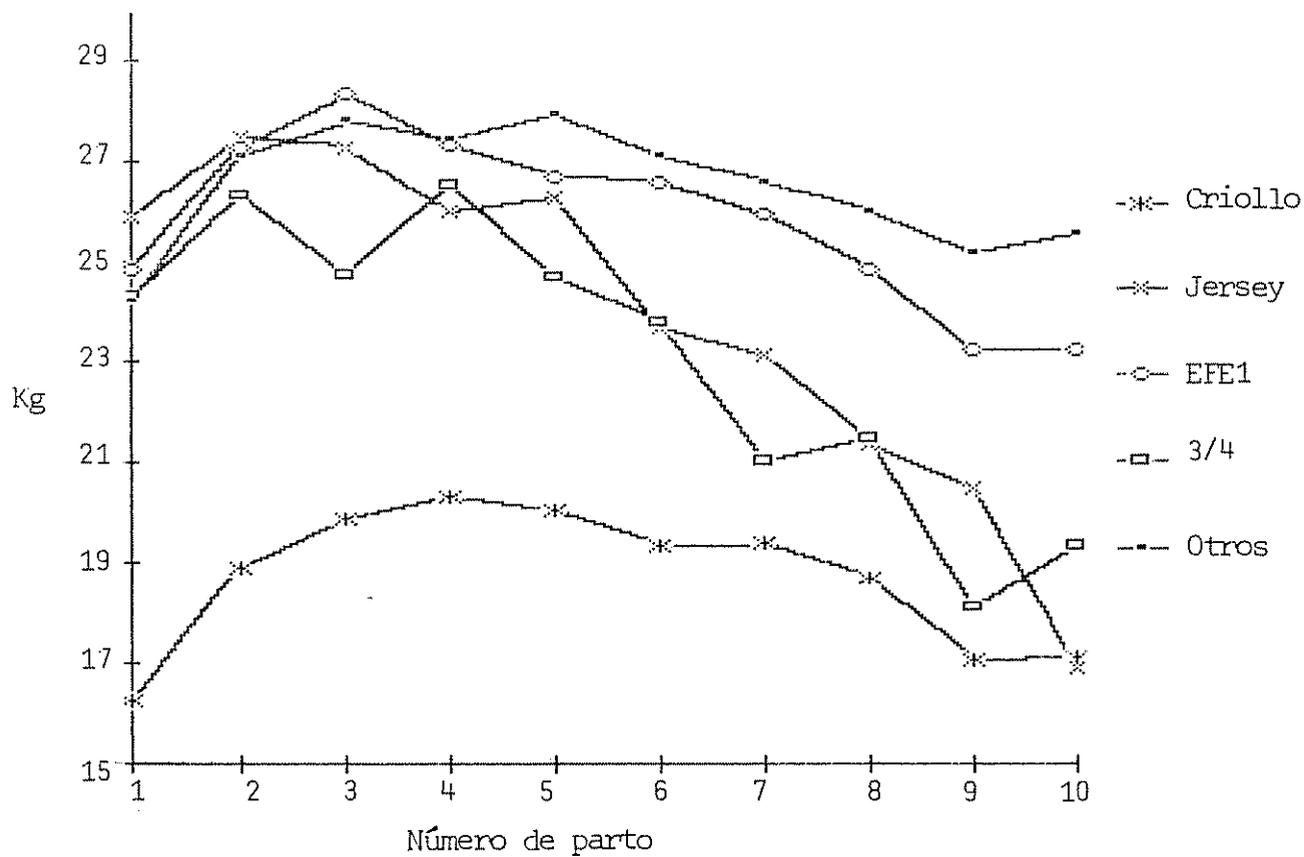


Fig. 1A. Producción de leche por peso metabólico según el número de parto en los distintos grupos raciales.

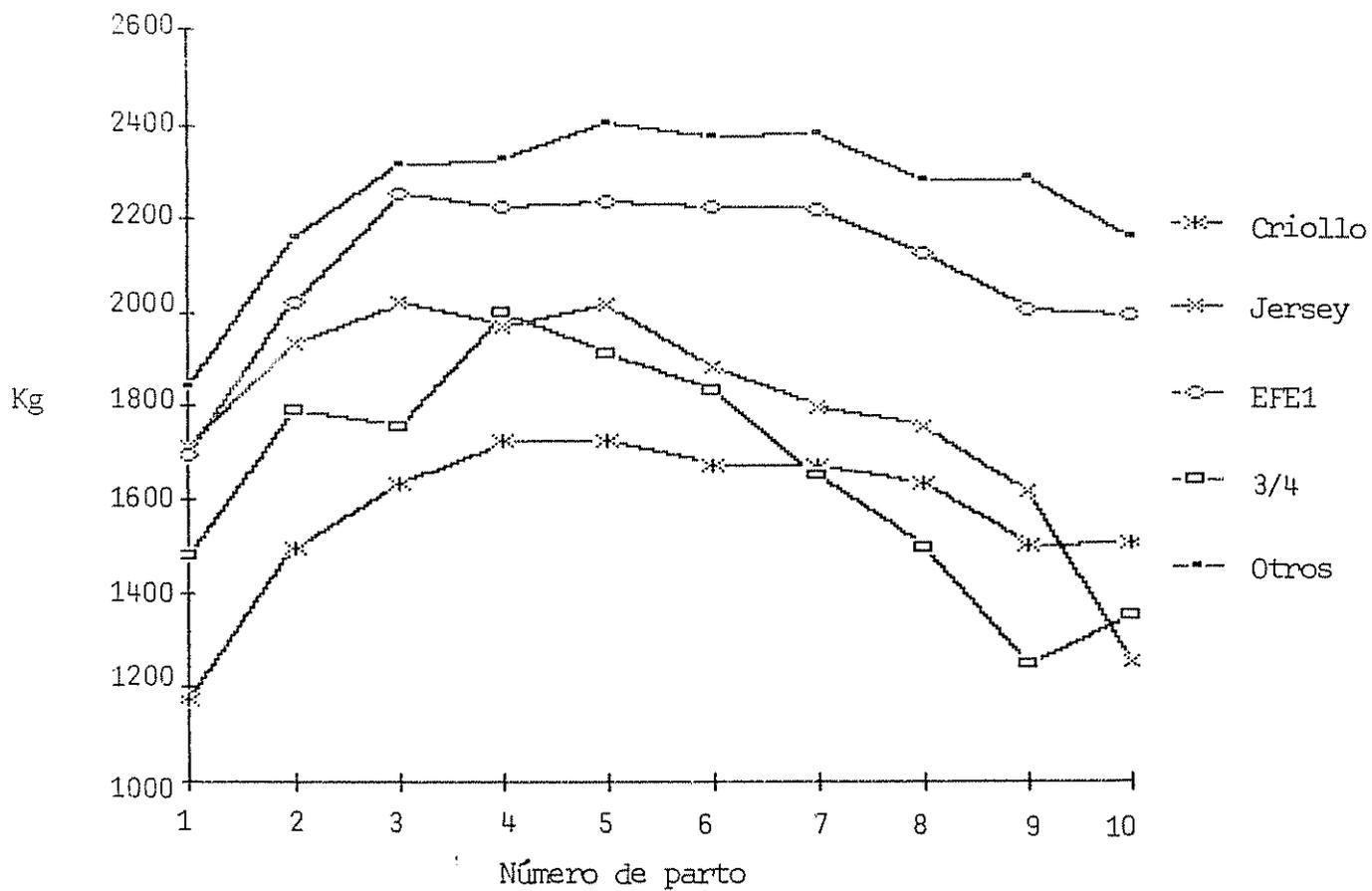


Fig. 2A. Producción de leche ajustada a 305 días, según el número de parto, en los distintos grupos raciales.

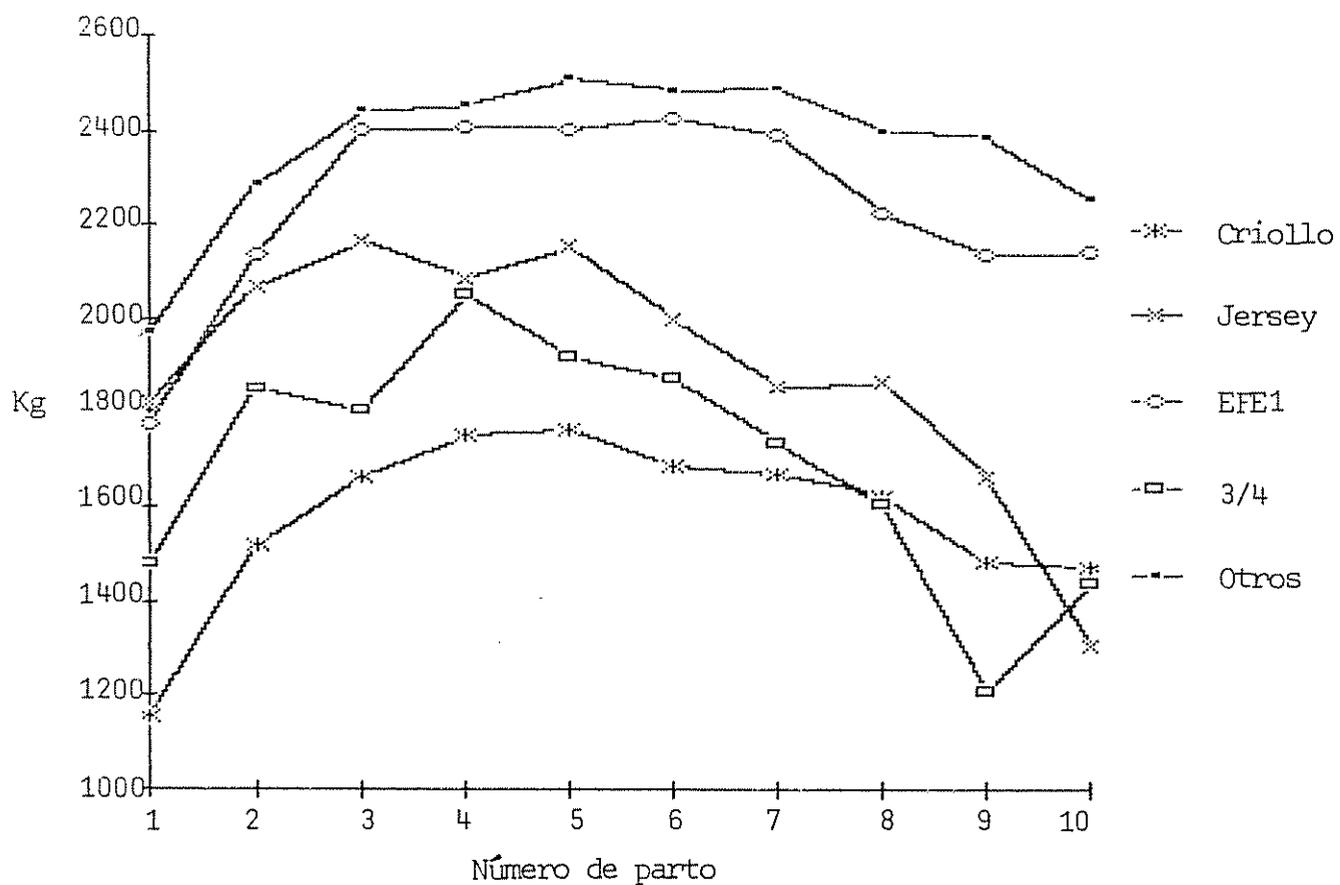


Fig. 3A. Producción de leche corregida a 4% de grasa, según el número de parto, en los distintos grupos raciales.

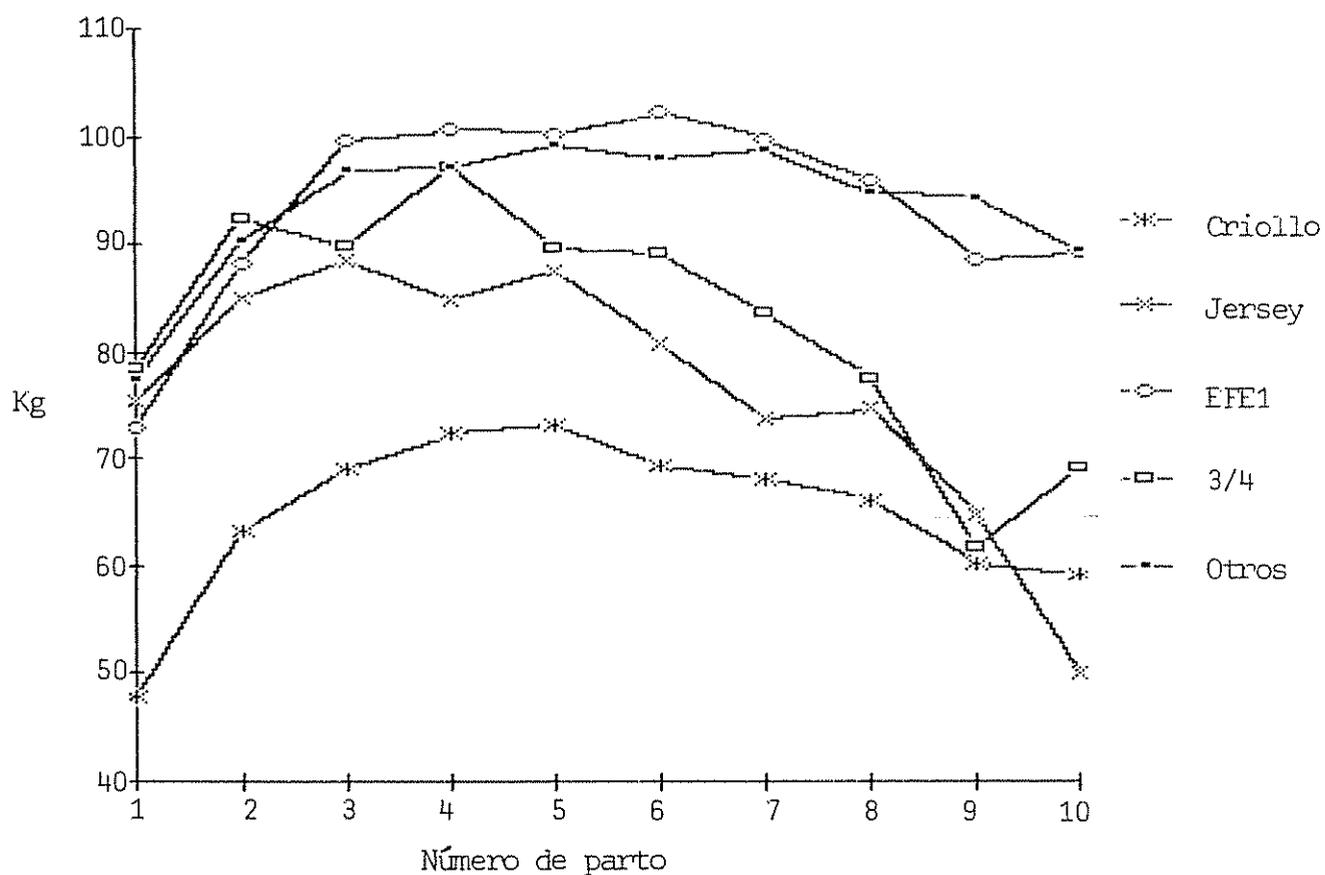


Fig. 4A. Producción de grasa ajustada a 305 días, según el número de parto, en los distintos grupos raciales.

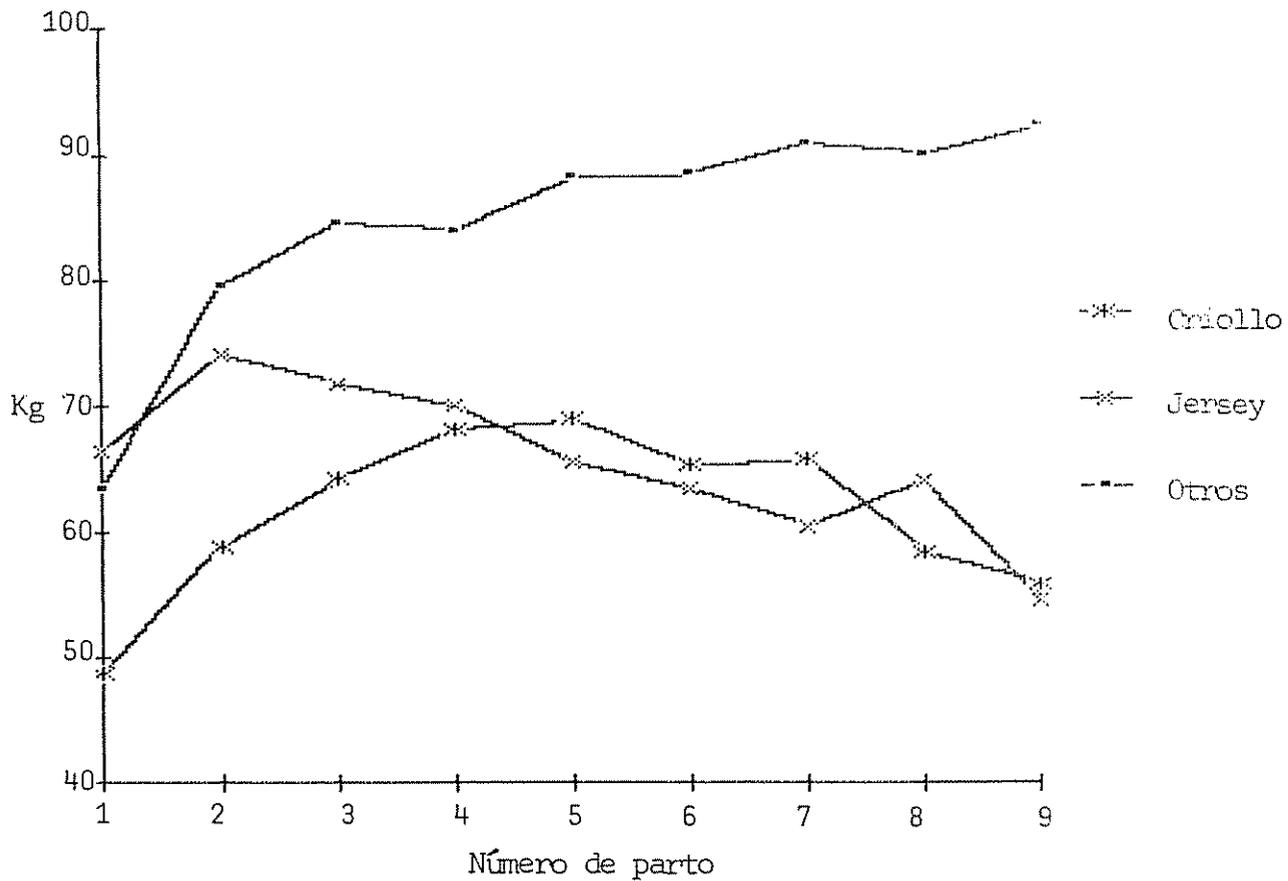


Fig. 5A. Producción de proteína ajustada a 305 días, según el número de parto, en los distintos grupos raciales.

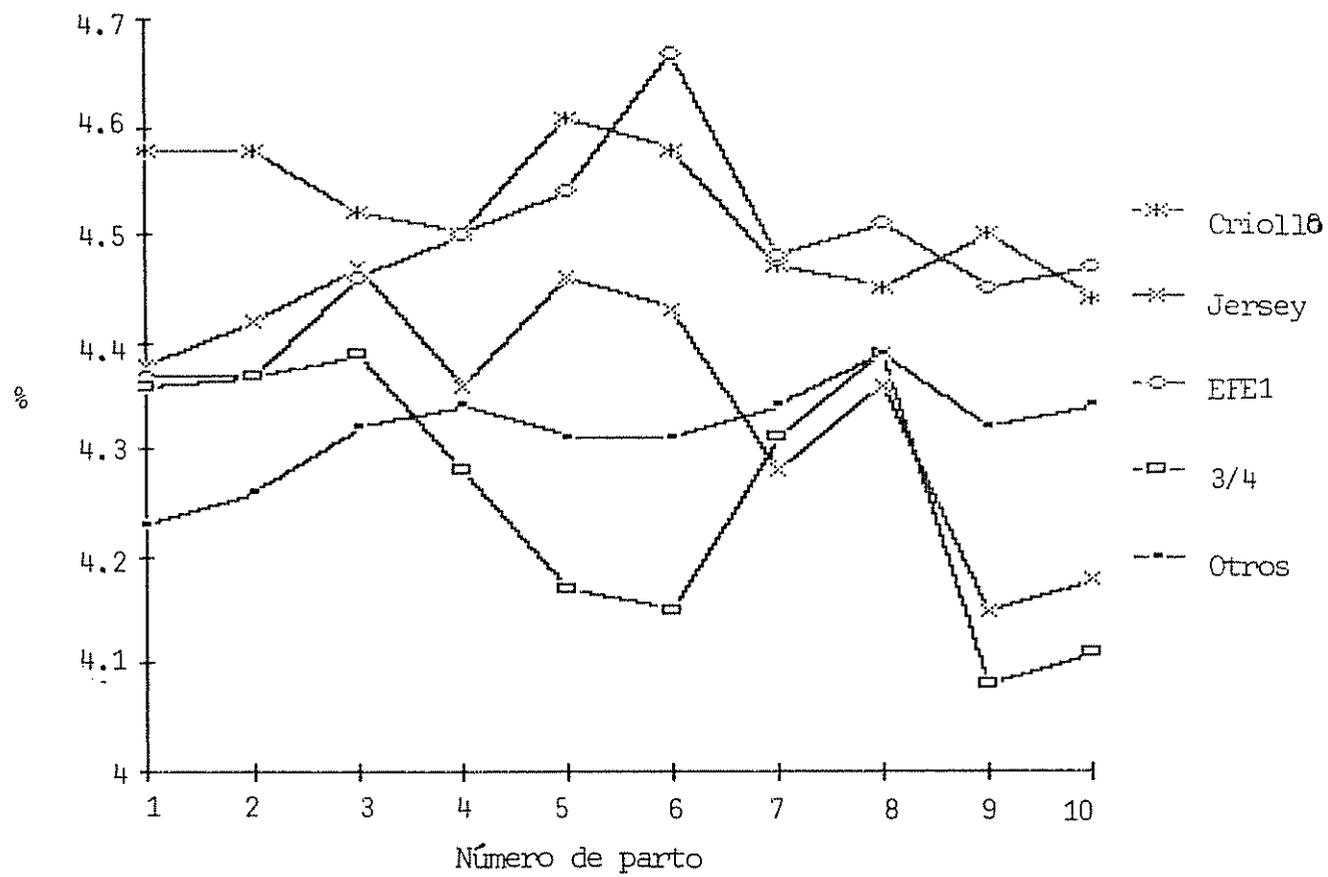


Fig. 6A. Porcentaje de grasa ajustada a 305 días de lactancia, según el número de parto, en los distintos grupos raciales.

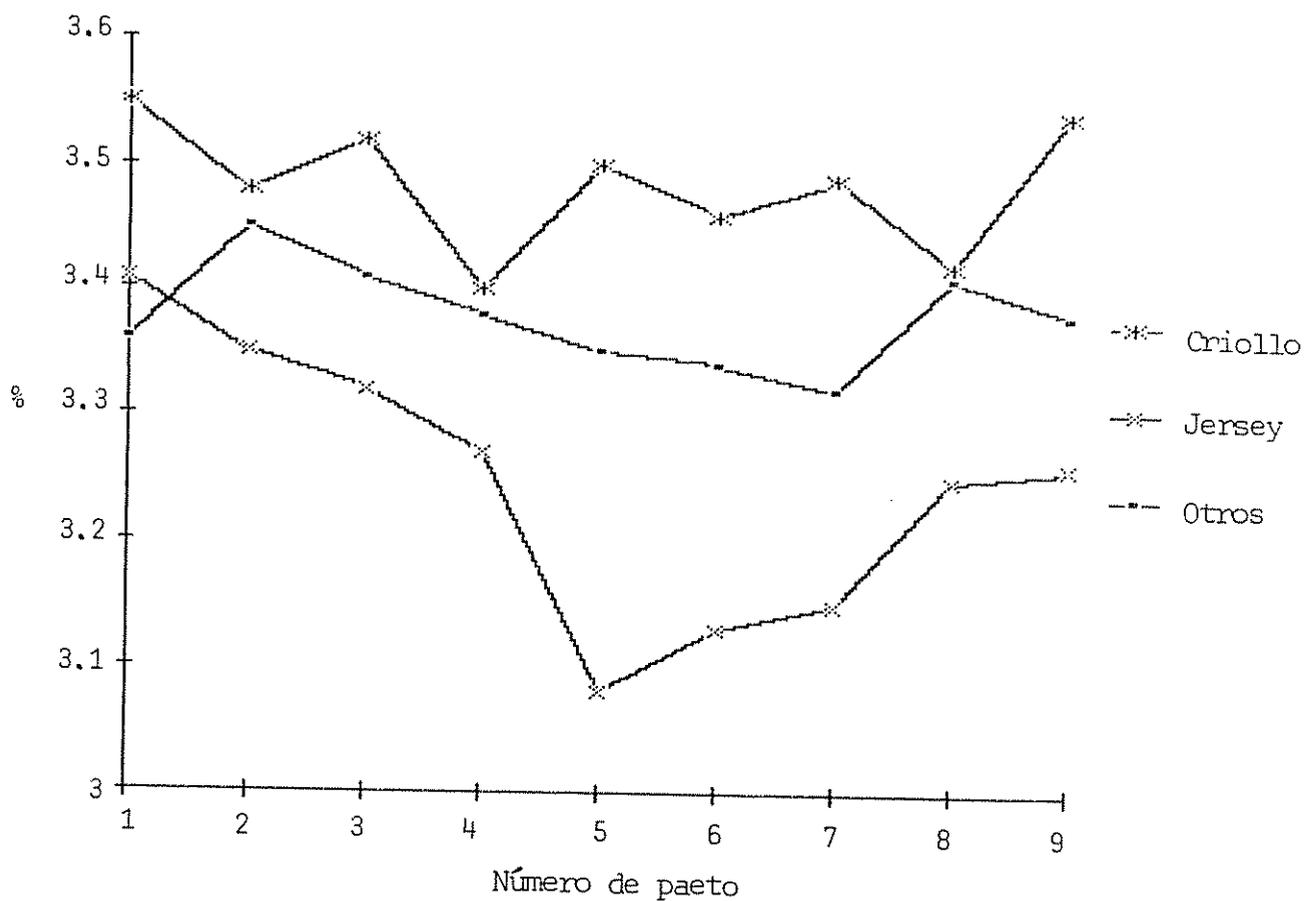


Fig. 7A. Porcentaje de proteína ajustada a 305 días, según el número de parto en los distintos grupos raciales.