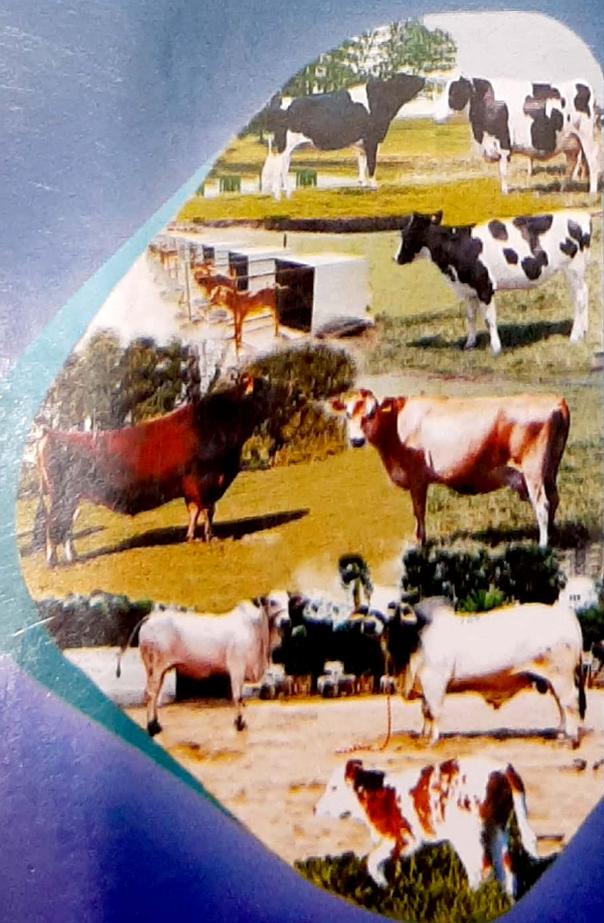




Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

División Sistema Universidad Abierta  
y Educación a Distancia

# Mejoramiento Animal *Genética*



## BOVINOS

2004



## Capítulo III

# CRUZAMIENTO Y HETEROSIS

### Temas:

- 5.1 Tipos de heterosis
- 5.2 Sistemas de cruzamiento
- 5.3 Retención de heterosis

### Objetivo general

El alumno:

Diseñará los sistemas de cruzamiento para conservar el nivel de heterosis.

### Objetivos específicos

Al finalizar el capítulo el alumno será capaz de:

- Explicar el mecanismo por el que sucede la heterosis.
- Determinar que tipo de características presenta respuesta a la heterosis.
- Conocerá las principales ventajas del manejo de la heterosis.

## Capítulo III CRUZAMIENTO Y HETEROSIS

MVZ., MSc. Pedro Ochoa Galván

El cruzamiento es el apareamiento entre animales de diferentes líneas, razas o especies. A nivel de genes, el cruzamiento causa un incremento en la heterocigosis en ellos para los cuales los progenitores poseen diferentes alelos —efecto de dominancia—, que es resultado de la interacción entre los genes del mismo locus; sin embargo, hay casos en los que la heterosis está determinada por el efecto epistático entre los genes de diferentes loci.

Estos tipos de combinación de genes están relacionados con la presentación de heterosis o vigor híbrido. El término de heterosis o vigor híbrido es utilizado para describir el incremento en la productividad de los individuos híbridos con relación a sus progenitores.

Por consiguiente, la heterosis se puede medir aplicando la siguiente expresión:

$$\text{Heterosis} = (\text{Media de la } F_1) - (\text{Media de las razas progenitoras})$$

Esta diferencia puede expresarse en términos de porcentaje por la siguiente expresión:

$$\% = \frac{(\text{Media de la } F_1 - \text{Media de razas progenitoras})}{\text{Media de razas progenitoras}} \times 100$$

Es importante medir la heterosis en los cruzamientos para calcular el grado de vigor híbrido para cada característica, pues ella se expresa únicamente en algunos caracteres en diferente grado.

Ejemplo 1. En la raza *Santa Gertrudis* el promedio para peso al destete es de 170 kg y en la raza *Beefmaster* de 180 kg; al aparearse machos *Santa Gertrudis* con hembras *Beefmaster*, el peso promedio al destete fue de 240 kg y en la crucea recíproca 200 kg.

$$\text{Promedio de la } F_1 = (240 + 200) / 2 = 220 \text{ kg}$$

$$\text{Promedio de razas puras} = (170 + 180) / 2 = 175 \text{ kg}$$

$$1) \quad H = (220 - 175) = 45 \text{ kg}$$

$$\% H = \frac{(220 - 175)}{175} \times 100 = 25.7$$

### 3.1 Tipos de heterosis

Se distinguen tres tipos de heterosis: individual, materna y paterna. La heterosis individual se atribuye a la combinación de genes que el individuo híbrido posee. La heterosis materna es el incremento de la producción debido a la utilización de madres híbridas con relación a las de raza pura. La heterosis paterna se obtiene al utilizar sementales híbridos con relación a los de raza pura Cuadro I.

**CUADRO I**  
**HETEROSIS PARA LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS EN BOVINOS**

Ganado lechero	Heterosis individual (%)
Producción de leche	6.0
Producción de grasa	7.0
Sólidos no grasos	0
Eficiencia alimenticia	3.0
Peso al nacimiento	3.0
Peso a edad adulta	5.0
Servicios por concepción	13.0
Intervalo parto-servicio	1.0
Intervalo servicio-concepción	17.5
<b>Ganado de carne</b>	
Tasa de parición	6.0
Crías destetadas por vaca expuesta	3.0
Peso al nacer	3.0
Peso al destete	5.0
Ganancia pos destete	4.0
Eficiencia alimenticia	1.0
Edad a la pubertad	5.5
Características de la canal	2.0

### 3.2 Sistemas de cruzamiento

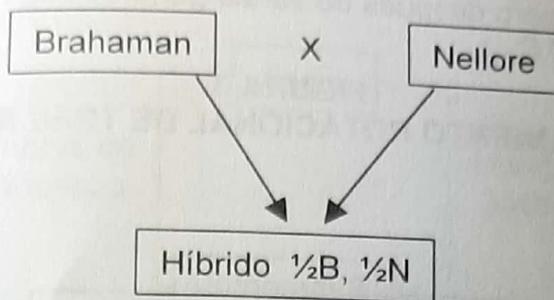
Hay varios sistemas de cruzamiento que se utilizan para mantener el nivel de heterosis en poblaciones animales, tales como: cruzamiento entre razas, rotacional de dos o más razas, absorbente, terminal y rotacional-terminal.

#### a) Cruzamiento entre razas

Animales puros de dos razas diferentes se usan en el cruzamiento para producir la progenie híbrida ( $F_1$ ), en la cual se manifiesta el vigor híbrido o heterosis individual. En este cruzamiento el híbrido manifiesta el nivel máximo de heterosis individual y una uniformidad en la composición genética. Sin embargo, este sistema presenta algunas desventajas, tales como, mantener las poblaciones de razas puras para obtener los reemplazos, y el no utilizar la heterosis materna.

En el cruzamiento de tres razas se aprovecha la heterosis individual y la heterosis materna mientras que en el de cuatro razas se puede utilizar los tres tipos de heterosis: individual, materna y paterna. Sin embargo, a medida que aumenta el número de razas en el cruzamiento, este sistema puede resultar muy complicado para llevarlo a la práctica.

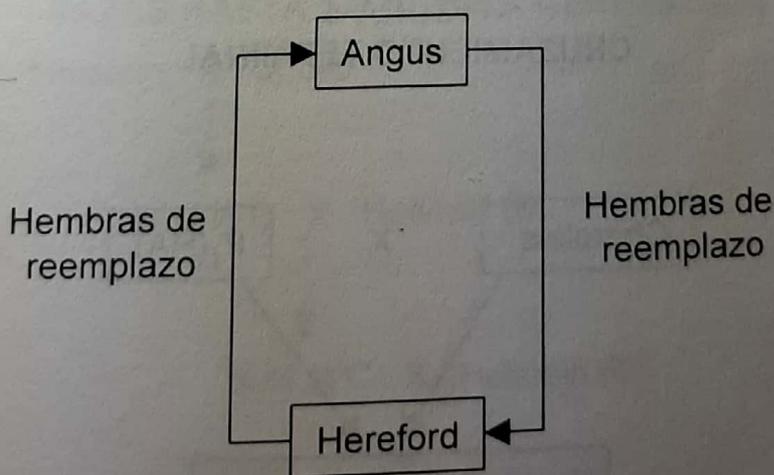
**FIGURA 1**  
**CRUZAMIENTO DE DOS RAZAS, EN EL HÍBRIDO SE MANIFIESTA LA HETEROSIS INDIVIDUAL**



*b) Cruzamiento rotacional*

Dos razas, por ejemplo A y B, se cruzan para producir la  $F_1$ . Posteriormente, hembras híbridas AB se conservan para aparearlas con machos de la raza A; así sucesivamente se van alternando los machos de la raza B y A en generaciones sucesivas con hembras híbridas. El nivel máximo de heterosis se expresa en la  $F_1$ , la cual posee 50% de A y 50% de B; pero no todo el vigor híbrido se pierde en generaciones sucesivas, ya que se estabiliza a partir de la séptima generación en 2/3 (67%) de la raza paterna y 1/3 (33%) de la materna; esta proporción oscila alternadamente en generaciones posteriores.

**FIGURA 2**  
**CRUZAMIENTO ROTACIONAL DE DOS RAZAS**

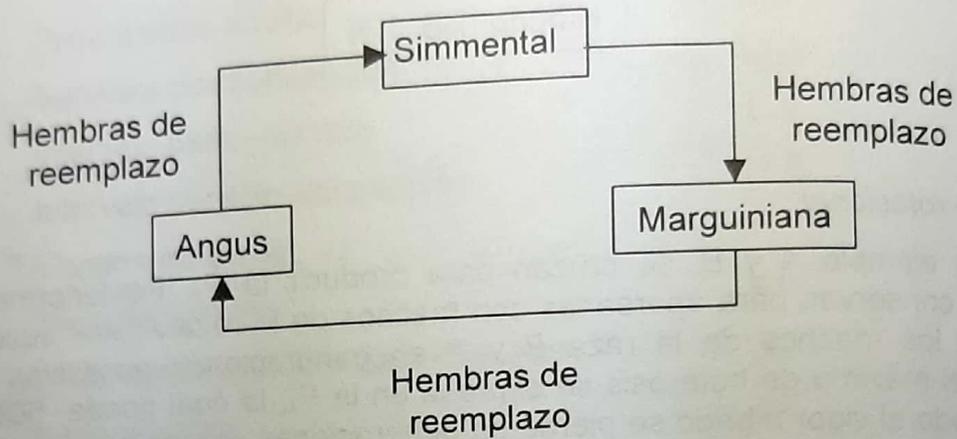


*c) Rotacional de tres razas*

En este sistema de cruzamiento las hembras  $F_1$  (AB) producto de la cruce de dos razas, son apareadas con machos puros de una tercera raza (C). Cada nueva generación de hembras

se aparean con machos de una de las razas de manera alternante o rotacional; una vez que la rotación de sementales se ha completado, se repite nuevamente el proceso. El máximo nivel de vigor híbrido se obtiene en la cruce de las tres razas en la cual las crías tienen la composición de  $\frac{1}{4} A$ ,  $\frac{1}{4} B$ ,  $\frac{1}{4} C$ , pues se aprovechan ambas, la heterosis individual y la heterosis materna. En las siguientes generaciones se pierde cierto vigor híbrido con relación a la cruce de las tres razas, pero después de varias generaciones la proporción de las tres se estabiliza en  $\frac{4}{7} A$ ,  $\frac{2}{7} B$   $\frac{1}{7} C$ .

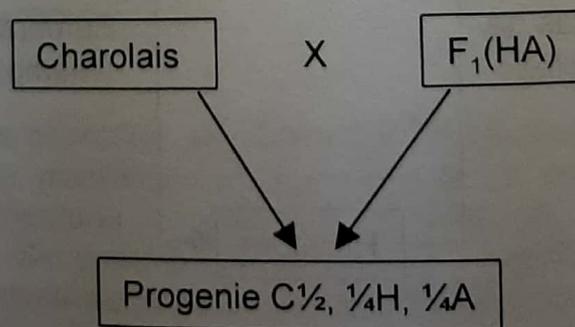
**FIGURA 3**  
**CRUZAMIENTO ROTACIONAL DE TRES RAZAS**



*d) Cruzamiento terminal*

Es el cruzamiento en el cual se aparean hembras  $F_1$  (AB) con machos puros de una tercera raza (C), que se caracteriza por su rápido crecimiento. Toda la progenie se vende y cuando se necesitan hembras de reemplazo (AB), su compran a otro productor.

**FIGURA 4**  
**CRUZAMIENTO TERMINAL**

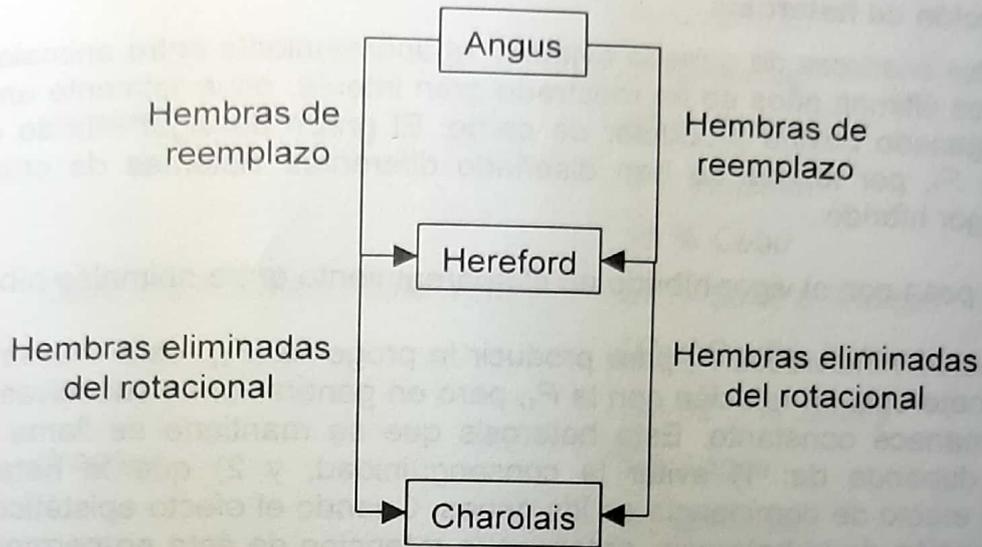


*e) Cruzamiento rotacional – terminal*

En este sistema se combina el cruzamiento rotacional para producir las hembras híbridas (AB) de reemplazo; las hembras que se eliminan por baja producción o por edad se aparean

con machos de la raza terminal, así todas las crías, producto del cruzamiento terminal, saldrán a venta.

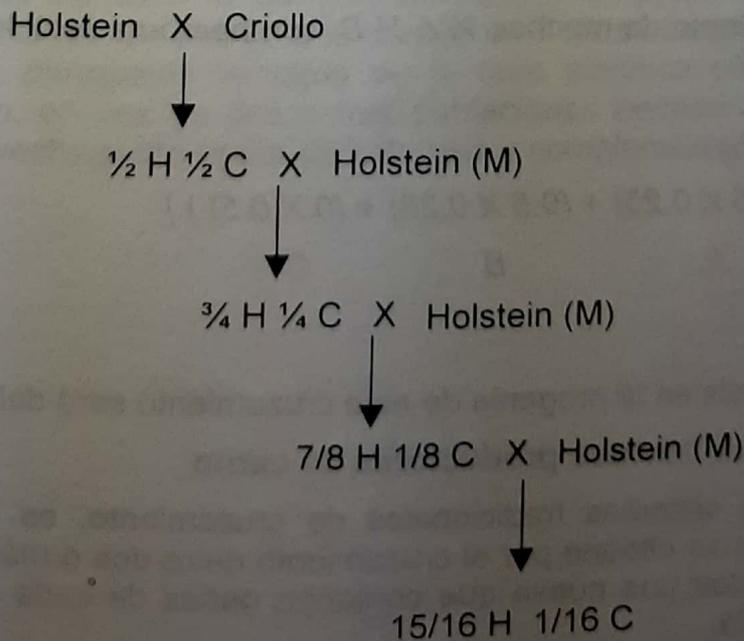
**FIGURA 5**  
**CRUZAMIENTO ROTACIONAL-TERMINAL. LA FASE ROTACIONAL DEL SISTEMA PRODUCE PRINCIPALMENTE HEMBRAS DE REEMPLAZO**



*f) Cruzamiento absorbente*

Este tipo de cruzamiento es conocido también como cruzamiento gradual o encaste, y consiste en una serie de retrocruzamientos de una población con otra con la finalidad de introducir un nuevo gen o determinados genes en la población, o para sustituir una población por otra. Por ejemplo, la sustitución de una raza nativa a través de cruzamiento continuo hacia una raza especializada.

**FIGURA 6**  
**CRUZAMIENTO ABSORBENTE, EN EL QUE SE MUESTRA LA PROPORCIÓN DE LAS RAZAS HASTA LA CUARTA GENERACIÓN**



*Comparación de los sistemas de cruzamiento.* La comparación entre los diferentes sistemas de cruzamiento se realiza con respecto a criterios tales como: nivel de heterosis, complementariedad entre las razas que se incluyen en el sistema, uniformidad en la producción, producción de hembras de reemplazo y simplicidad en el manejo. La importancia relativa de cada criterio depende de la situación en particular.

### 3.3 Retención de heterosis

En el pasado los criadores de ganado evitaban el apareamiento entre animales híbridos; sin embargo, en los últimos años se ha mostrado gran interés, especialmente en la producción comercial de ganado bovino productor de carne. El grado de vigor híbrido o heterosis es máximo en la  $F_1$ , por lo que se han diseñado diferentes sistemas de cruzamiento para mantener el vigor híbrido.

¿Qué pasa con el vigor híbrido en el apareamiento entre animales híbridos?

Cuando se aparean individuos  $F_1$  para producir la progenie ( $F_2$ ), esta muestra  $\frac{1}{2}$  ó 50% de pérdida de la heterosis en relación con la  $F_1$ , pero en generaciones sucesivas la cantidad de heterosis permanece constante. Esta heterosis que se mantiene se llama "Retención de heterosis", y depende de: 1) evitar la consanguinidad, y 2) que la heterosis se deba únicamente al efecto de dominancia en los genes. Cuando el efecto epistático es importante en la determinación de la heterosis, entonces la retención de ésta no permanece constante después de la segunda generación, ya que hay pérdida de recombinaciones de efectos epistáticos que son favorables. Una fórmula general para calcular la heterosis que se espera en un cruzamiento o en un apareamiento determinado es la siguiente:

$$RH = 1 - \sum P_{mi} P_{hi}$$

Donde :

$RH$  = retención de heterosis;

$P_{mi}$  = proporción de la  $i$  ésima raza del semental, y

$P_{hi}$  = proporción de la  $i$  ésima raza de la vaca.

Ejemplo. En el cruzamiento de machos  $\frac{1}{2} A \frac{1}{2} B$ , con hembras  $\frac{1}{4} A \frac{1}{4} B \frac{1}{2} C$ , ¿cuál será la retención de heterosis?

$$RH = 1 - \sum P_{mi} P_{hi}$$

$$RH = [ 1 - ( (0.5 \times 0.25) + (0.5 \times 0.25) + (0 \times 0.5) ) ]$$

A                      B                      C

$$RH = 0.75$$

La retención de heterosis en la progenie de este cruzamiento será del 75%.

### Las razas sintéticas en bovinos productores de carne

Una alternativa a los sistemas tradicionales de cruzamiento, es la utilización de razas sintéticas. La raza que se obtiene por el cruzamiento entre dos o más razas ya establecidas es con el fin de producir una nueva que contenga genes de cada raza fundadora en una proporción determinada.

**CUADRO II**  
**ALGUNAS RAZAS SINTÉTICAS EN BOVINOS**

Raza sintética	Composición
<i>Beefmaster</i>	$\frac{1}{4}$ Hereford $\frac{1}{4}$ Shorthorn $\frac{1}{2}$ Brahman
<i>Jamaica Hope</i>	80 % Jersey 5 % Holstein 15 % Cebú
<i>Cebú lechero australiano (AMZ)</i>	37.5- 50 % <i>B. indicus</i> (Red Sindhi, Sahiwal) 50- 62.5 % Jersey
<i>Brangus</i>	$\frac{5}{8}$ Angus $\frac{3}{8}$ Brahman
<i>Santa Gertrudis</i>	$\frac{5}{8}$ Shorthorn $\frac{3}{8}$ Brahman
<i>CASH</i>	$\frac{1}{4}$ Charolais $\frac{1}{4}$ Angus $\frac{1}{4}$ Pardo Suizo $\frac{1}{4}$ Hereford

Con respecto a la heterosis o vigor híbrido, la predicción teórica es que si  $n$  razas contribuyen en igual proporción en la formación de la raza sintética, la retención de heterosis es igual a  $1 - 1/n$ ; cuando las razas fundadoras contribuyen en proporciones diferentes en la formación de la raza sintética, entonces la retención de heterosis se obtiene por la fórmula general ya citada. Las principales ventajas de la raza sintética son: 1) únicamente se mantiene una población, en vez de dos o tres poblaciones necesarias en el cruzamiento tradicional, y 2) se aprovecha cierto grado de heterosis y complementariedad racial.

## AUTOEVALUACIÓN

1. Mencione los diferentes tipos de heterosis.
2. ¿Cuál es el principal efecto genético que determina la heterosis?
3. El peso al destete en ganado Brahman (B) es de 165 kg, y en la raza Charolais (Ch), 178 kg. Si la cruce B X Ch al destete pesa 180 kg, y su cruce recíproca Ch X B pesa 190 kg, ¿cuál es la heterosis individual para peso al destete?
4. Explique el sistema de cruzamiento que se designa como rotacional con dos razas.
5. Señale tres criterios para comparar sistemas de cruzamiento.

E

Te

4.1

4.2

4.3

## Capítulo IV

### EL AJUSTE DE LOS REGISTROS DE PRODUCCIÓN PARA ALGUNOS FACTORES AMBIENTALES O NO GENÉTICOS

#### Temas:

- 4.1 Días en lactancia
- 4.2 Edad de la vaca o equivalente maduro
- 4.3 Evaluación genética de progenitores

#### Objetivo general

El alumno:

Establecerá los criterios necesarios para utilizar los registros como base para la selección de los animales.

#### Objetivos específicos

Al finalizar el capítulo el alumno será capaz de:

- Conocerá los factores de ajuste sobre días de lactancia y equivalente maduro.
- Considerar los factores de ajuste como auxiliares en la evaluación del semental.

## Capítulo IV

# AJUSTE DE REGISTROS DE PRODUCCIÓN PARA ALGUNOS FACTORES AMBIENTALES

MVZ., MSc. Pedro Ochoa Galván

La mayor parte de las características de importancia económica en el ganado lechero son cuantitativas o métricas, que se caracterizan porque están determinadas por varios genes, y además la expresión fenotípica de la característica se ve afectada de manera importante por efectos ambientales. Ambos componentes se combinan para determinar el fenotipo de la característica, y que además el fenotipo presente una variación continua; tal es el caso de la producción y composición de la leche, conformación, eficiencia productiva y resistencia a las enfermedades.

Para las características cuantitativas se ha planteado el siguiente modelo:

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Fenotipo} \\ \hline \text{(Producción de leche)} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{Genotipo} \\ \hline \text{(Capacidad genética)} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{Ambiente} \\ \hline \text{(Oportunidad ambiental)} \\ \hline \end{array}$$

Los registros individuales de la producción de leche de las vacas del hato, constituyen la información básica para el análisis genético en una población de ganado lechero. De acuerdo con el modelo planteado para las características cuantitativas, se necesita considerar la necesidad de disminuir o al menos reducir los efectos ambientales.

Son varios los factores ambientales que inciden en la producción de leche, y que pueden encubrir la verdadera capacidad genética del animal. Entre ellos se encuentran los que pueden ser identificados y cuantificados, como son, edad de la vaca o equivalente maduro, duración de la lactancia y número de ordeños por día. Para estos efectos los registros de producción son ajustados a una base común o estándar.

### 4.1 Días en lactancia

Durante un período de lactación, la producción de leche va aumentando a partir del parto hasta que alcanza su máxima producción, lo que podrá ocurrir entre la tercera y sexta semana; posteriormente sufre un descenso gradual en su producción; el grado en que ésta se mantiene conforme avanza la lactación se llama persistencia.

Algunas veces el ganado lechero es seleccionado en el transcurso de la lactancia ("lactancia incompleta"), con ayuda de factores de ajuste, que relacionan la producción total con respecto a la producción parcial acumulada; este factor cuando es multiplicado por la producción parcial acumulada, permite estimar la producción a 305 días, considerando como ideal una duración de lactancia de este total de días. Los factores de ajuste para lactancias incompletas que se proyectan a una base estándar de 305 días se presentan en el Cuadro I.

**CUADRO I**  
**FACTORES DE AJUSTE PARA PROYECTAR LACTANCIAS PARCIALES A UNA**  
**BASE ESTÁNDAR DE 305 DÍAS**

Días	Factor de ajuste	Días	Factor de ajuste
30	8.32	170	1.58
40	6.24	180	1.51
50	4.94	190	1.44
60	4.16	200	1.38
70	3.58	210	1.32
80	3.15	220	1.27
90	2.82	230	1.23
100	2.55	240	1.19
110	2.34	250	1.15
120	2.16	260	1.12
130	2.01	270	1.08
140	1.88	280	1.06
150	1.77	290	1.03
160	1.67	300	1.01

\* *Dairy herd improvement letter* vol, 41 no. 6 USDA-ARS 44-164

#### **4.2 Edad de la vaca o equivalente maduro**

La vaca produce más leche conforme aumenta su edad, alcanzando su madurez a los 6 años. Una vaca de primer parto con 2 años de edad, produce 30% menos con relación a la de 6 años; las vacas de 3 años el 20% menos y las de 4 y 5 años la disminución será de 10 y 5%, respectivamente. La finalidad de la corrección para edad, es estimar la producción de leche que se espera alcance la vaca al ser adulta; dicho ajuste se denomina equivalente maduro. Los factores de ajuste para equivalente maduro de la raza *Holstein* se presentan en el Cuadro II.

#### **Número de ordeños**

Una práctica común es realizar dos ordeños por día; sin embargo, en algunos establos a veces se realizan tres ordeños, y con esta práctica se obtiene entre 10 a 20 % más en la producción. Ocasionalmente es necesario comparar las vacas que se han ordeñado tres veces por día con otras que se ordeñaron dos veces, para lo cual es necesario emplear factores de ajuste que permitan convertir registros de tres ordeños a dos.

**CUADRO II**  
**FACTORES DE AJUSTE PARA EQUIVALENTE MADURO DE RAZA HOLSTEIN**

Edad ( meses )	Factor de ajuste
21	1.35
22	1.32
23	1.30
24	1.28
26	1.25
28	1.22
30	1.20
32	1.18
34	1.16
36	1.14
38	1.13
40	1.11
42	1.09
44	1.08
46	1.06
48	1.05
51	1.04
54	1.02
57	1.01
60	1.01
66	1.00
72	1.00
90	1.00
96	1.00
108	1.02
120	1.05
132	1.06
144	1.09
156	1.18
168	1.16

Los registros de producción láctea que se expresan en una base común con respecto a días en lactancia, equivalente maduro y dos ordeños (305d-EM-2X), se denominan registros estandarizados o ajustados. Los factores de corrección o ajuste varían substancialmente entre razas, grupos de edades y lugar donde fueron calculados; por ello, cuando estos son empleados en regiones diferentes deben considerarse con precaución.

Hay otros efectos ambientales que son aleatorios y que no es posible cuantificar su efecto sobre la producción, entre los que se encuentra, la alimentación, el manejo y cuidado de la vaca. Sin embargo, también hay otros factores ambientales que son comunes a todas las vacas que paren en el mismo hato, año y época, y por lo tanto pueden tomarse en cuenta en la evaluación genética.

Ejemplo 1. Una vaca *Holstein* de 3 años ha tenido en una lactancia de 280 días una producción de 4 200 kg de leche, con 2 ordeños por día. El registro de producción de esta vaca a una base de 305 días-EM-2X, es:

$$\text{Registro ajustado} = 4\ 200 \times 1.06 \times 1.14 = 5\ 075.3 \text{ kg}$$

305 días - EM - 2X

### 4.3 Evaluación genética de progenitores

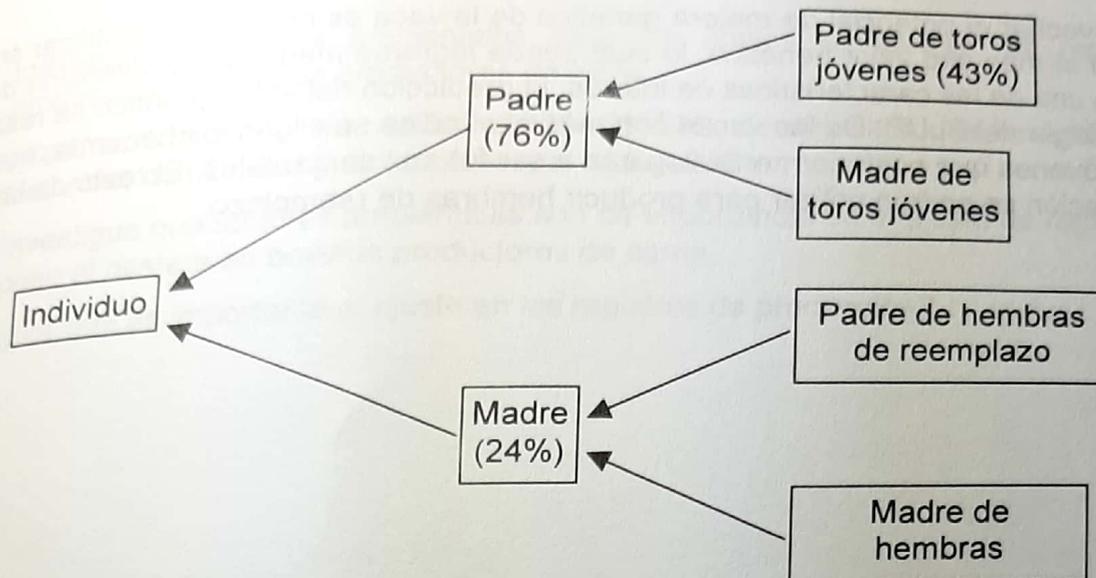
#### 1. Evaluación del semental

La investigación ha demostrado que la mayor parte del mejoramiento genético proviene de la selección de sementales; de acuerdo con *Rendel* y *Robertson* el progreso genético se obtiene por las siguientes vías:

Como se indica en el diagrama siguiente, el 76% de la mejora genética en el hato proviene del semental. Para escoger aquellos sementales que darán la mejor progenie es necesario tener entonces alguna medida que describa la transmisión de los genes a la progenie; esta medida es el valor genético, que es la parte del genotipo que se debe al efecto aditivo de los genes. El mérito o valor genético se define por separado para cada característica. En la práctica no se conoce el valor genético; en su lugar se tienen diferentes fuentes de información como las mediciones fenotípicas del individuo, progenie y/o parientes colaterales. El método más preciso para estimar el valor genético del semental es la prueba de progenie, que consiste en la evaluación del semental a través de la información de sus hijas. La diferencia entre el promedio de las hijas de un toro y el promedio de la población de referencia da una estimación de la mitad del valor genético, porque cada hija recibe una muestra de la mitad de los genes de cada progenitor; a esta estimación se le denomina habilidad de transmisión predicha (PTA); así se tienen valores de PTA para producción de leche, grasa, proteína o para los diferentes caracteres de tipo como ubre, patas, estatura, etcétera.

La confiabilidad de la estimación del PTA se mide por el porcentaje de confiabilidad (% R), el que puede expresarse como la correlación entre el valor real y el valor de la estimación; el rango de la confiabilidad es de 0 a 1.0; los valores bajos indican que grandes cambios pueden ocurrir cuando se incluya más información de la progenie y parientes colaterales. Aunque la prueba de progenie es el mejor método para evaluar el valor genético del semental, su principal desventaja es el tiempo que se requiere para llevarla a cabo. En el Cuadro III se desglosan los componentes del tiempo requerido para la prueba de progenie.

## IMPORTANCIA DEL SEMENTAL EN LA MEJORA GENÉTICA



**CUADRO III**  
**TIEMPO REQUERIDO EN LA PRUEBA DE PROGENIE**  
**DE GANADO BOVINO PRODUCTOR DE LECHE (MESES)**

Edad al inicio de la reproducción	12
Duración de la gestación de la vaca	9
Edad promedio de la hija (al parto)	24
Duración de la lactancia de la hija	10
<b>TOTAL</b>	<b>55</b>

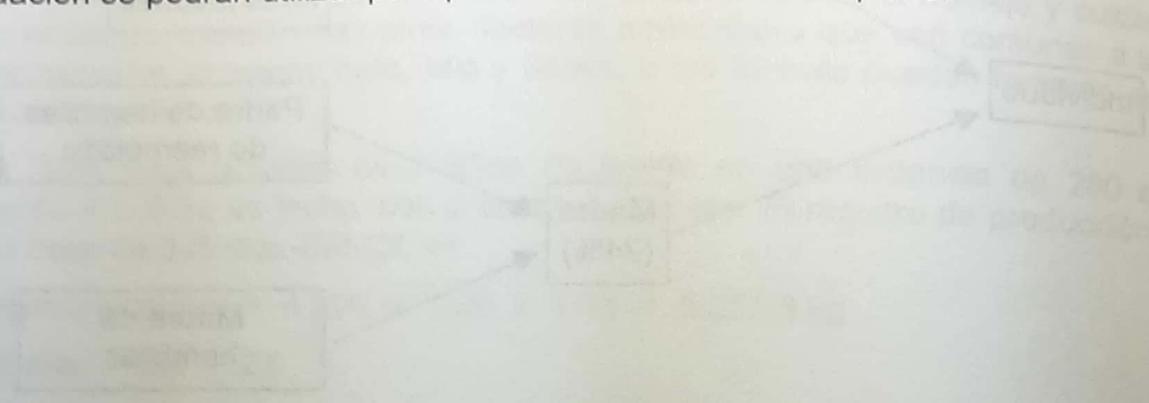
La metodología estadística para la evaluación genética de los individuos de la población ha cambiado de acuerdo con los avances en la teoría genética y el desarrollo técnico, sobre todo en el área de la computación. La metodología que actualmente se utiliza responde al concepto estadístico del mejor predictor lineal insesgado (BLUP). Esta metodología es la más confiable para realizar la predicción, ya que puede tomar en cuenta el apareamiento no aleatorio entre los animales del hato, diferencias genéticas entre hatos, sesgo debido a selección en la población y efectos ambientales. Otra ventaja del BLUP es que se pueden obtener predicciones del valor genético de todos los animales de la población cuando se utiliza el modelo animal. Por estas ventajas el BLUP se ha convertido en el método más popular para predecir el valor genético de los animales de una población. Los resultados de las evaluaciones son publicadas anualmente en revistas de las asociaciones correspondientes que se denomina "Sire Summaries".

### 2. La evaluación genética de vacas

La evaluación de vacas contribuye de manera importante al progreso genético de la

población hasta en un 39%, a través de las siguientes vías: como madres de sementales (33%), y mediante madres de vacas de reemplazo (6%).

Para aprovechar el potencial de mejora genética de la vaca es necesario identificar aquellas vacas con el más alto valor genético, lo cual puede lograrse mediante la obtención del PTA para cada una de las características de interés; la predicción del valor genético se realiza por la metodología del BLUP. De las vacas con más alto índice se eligen los becerros, que serán los toros jóvenes que posteriormente llegarán a ser futuros sementales. El resto de las vacas con evaluación se podrán utilizar para producir hembras de reemplazo.



## AUTOEVALUACIÓN

1. Indique tres factores ambientales para los cuales se ajustan los registros de producción en bovinos productores de leche.
2. ¿Cuál será la producción de leche(305d-2X-EM), de una vaca que lleva 150 días en lactancia, con 2 100 kg de leche en dos ordeños/día.
3. Investigue que factores ambientales son de importancia en el ajuste de registros para peso al destete en bovinos productores de carne.
4. ¿por qué es importante el ajuste en los registros de producción?

## Capítulo V

# MEJORAMIENTO GENÉTICO

### Temas:

- 5.1 Mejoramiento del ganado lechero en la práctica
- 5.2 Mejoramiento en ganado de carne

### Objetivo general

El alumno:

Comprenderá la aplicación de la genética en los sistemas de producción animal

### Objetivos específicos

Al finalizar el capítulo el alumno será capaz de:

- Explicará la aplicación de las técnicas de cruzamiento y selección de ganado.
- Mencionará los pasos a seguir dentro de un programa de mejoramiento genético.

## Capítulo V

# MEJORAMIENTO DEL GANADO EN LA PRÁCTICA

MVZ. Ramón Gasque Gómez

### 5.1 Mejoramiento del ganado lechero

Un programa de mejora genética en el ganado lechero comprende tres fases:

1. Determinar los objetivos de la selección.
2. Seleccionar los toros que habrán de utilizarse (probados).
3. Definir cuáles vacas se aparean con determinado toro.

Las herramientas genéticas de que se dispone se definen como "habilidades de transmisión estimada" (H.T.E) o habilidades predichas de transmisión para leche, proteína, grasa y tipo. La diferencia en los valores de H.T.E. en dos toros indica lo que puede esperarse de sus hijas promedio. Actualmente se emplea el concepto de "índices de selección" que puede utilizar el ganadero y le facilita la tarea de seleccionar los toros evitando confusiones por exceso de información. Con frecuencia muchos ganaderos desean mejorar varias características al mismo tiempo.

Con la abundancia de valores genéticos disponibles para cada característica (H.T.E.), los ganaderos tienen a su disposición un sinnúmero de alternativas de selección de toros (semen) para sus rebaños. Para obtener mejores resultados globales, los genetistas recomiendan no concentrarse en una sola característica sino en poner atención a los llamados "índices de selección".

Combinando 4 ó 5 valores de H.T.E. de un solo parámetro, los índices pueden combinar cualquier característica que el ganadero desee. Con el uso de índices, se obtiene un "compilado" de los valores mejorantes de un toro.

#### Índices

Actualmente hay varios índices que sirven para diversos propósitos a saber:

*Mérito Neto.* Es un índice relativamente nuevo desarrollado por el USDA, AIPL. Este índice combina los valores que inciden en la mejora de la leche, grasa y proteína, expresados en dólares (valor H.T.E.C. económico) además de vida productiva y puntuación para células somáticas en la leche.

La ponderación (énfasis) para cada uno de los valores integrados en el *índice de mérito neto* (I.M.N.) es de 10:4:1, respectivamente. El valor de vida productiva de el I.M.N. mide qué permanencia promedio en el hato tienen las hijas de un toro. Este factor se mide en meses de vida promedio en el rebaño.

El factor "*células somáticas*". Predice la propensión de las hijas de un toro a tener o no alto conteo de células somáticas y mastitis. En la práctica, la correlación entre conteo de células somáticas y mastitis es positiva pero moderada.

*Índice producción tipo.* Este índice incluye valores para mejorar (H.T.E.) la proteína, grasa, tipo y combinado de ubre. El índice ponderado en cada uno de estos aspectos es de: 3 para proteína, 1 para grasa, 1 para tipo y 1 para combinado de ubre.

*Índice tipo producción.* Este índice puede parecer confuso o repetido; no obstante lo utiliza la asociación de la raza Jersey por lo que el nombre cambia por inversión de términos. Los criadores de Jersey lo ponderan así: H.T.E. para kilogramo de proteína: 8 partes, grasa 2, tipo funcional 2 partes, 2 partes para vida productiva y 1 parte para células somáticas.

*Valor mejorante para leche (H.T.E.).* El ganadero interesado por el volumen de leche líquida debe poner más énfasis en un solo valor "la H.T.E. para leche" cuando seleccione semen para su hato. La H.T.E. leche, clasifica a los toros según el criterio de cuánta leche se predice para sus hijas en relación con la base genética de 1995. Esta base considera que el promedio de las vacas nacidas en 1990 es el promedio a mejorar y, por tanto, es la base cero o punto de partida para seguir mejorando el promedio racial. Para el año 2000 posiblemente el promedio de las vacas nacidas en 1995 será base cero, y así sucesivamente. Es importante usar buen semen en primerizas y vacas jóvenes, y así mejorar genéticamente los rebaños es recomendable ordenar los toros por índices o valores de H.T.E. de altos a bajos y utilizar los más altos. Sólo los mejores reproductores deberán ser los padres de la siguiente generación. Dado que el toro lleva el mayor porcentaje de responsabilidad en la mejora genética, su "selección" reviste particular importancia, sin descuidar la selección de vacas (elite) para que sean madres de los futuros sementales. No obstante, la presión de seleccionar a las vacas es mucho menor porque la mayoría de ellas debe permanecer en la línea de producción para no perjudicar el negocio lechero, por lo que no son seleccionables todas.

Sin excepción, los toros que son muestreados en el proceso de prueba deben tener el máximo potencial genético lo cual se logra aplicando sistemáticamente dos principios: intensidad de selección, y precisión de selección, que se traduce en animales de alto mérito genético (potencial) si se hacen bien las cosas.

La mejor medida del potencial genético de un toro es el promedio de sus padres, que equivale al cincuenta por ciento del valor de mejora de su padre y al cincuenta restante del valor mejora de su madre. En tanto más altos sean los valores de los padres mayor será el potencial del animal; no obstante, si la precisión del análisis de los registros de la madre es baja, su valor de mejora no será un estimador preciso. Los toros con mejores valores de mejora de sus padres, obtienen más altas valoraciones.

Los índices de selección han demostrado ser (técnicamente) la forma más eficiente para mejorar caracteres múltiples; en otras palabras, estos índices evitan en su uso darle demasiado peso a una sola característica. Cabe aclarar sin embargo, que si el objetivo económico del ganadero lo obliga a concentrarse en un solo "carácter" (p. ej.: leche), puede entonces pasar por alto un índice y concentrar su atención sólo en el valor que mejora la leche (H.T.E. leche).

La fase 2 (selección de toros a usar) es la decisión de más peso cuando se trata de controlar el progreso genético de un hato. El promedio de los valores de H.T.E., para leche, proteína, y grasa tipo, es una evidencia de con cuánto acierto se selecciona el semen de toros a usar. No sólo importa de qué toro es el semen sino también cómo se le usa.

Si un ganadero quiere utilizar el semen mejor y más caro, debe usarlo donde tenga el mejor índice de concepción y evitar su empleo en vacas repetidoras, como también cuando las condiciones ambientales sean rigurosas (días calurosos).

## **Papel del ganadero**

En hatos con buen nivel genético y con un programa consistente de mejora debe realizarse la selección identificando con precisión las vacas que eventualmente podrían ser madres de prospectos de sementales, si es que el ganadero tiene contratos con empresas de sementales con el fin de que sus mejores vacas sean receptoras de semen de toros en proceso de prueba de progenie.

El ganadero hace la selección en dos direcciones: por un lado, identifica a sus vacas de mejor calidad, algunas de las cuales pueden entrar en un programa de superovulación y transferencia de embriones y, por otro, lado realiza un desecho de las vacas de bajo rendimiento. Como la mayoría de las vacas tienen que conservarse para su explotación comercial, sólo un porcentaje reducido conviene eliminar (p. ej.: 10%) por razones estrictamente genéticas.

El ganadero que desea un rápido avance genético lo obtendrá si su programa tiene objetivos bien definidos y se hagan meticulosos seguimientos de la evolución productiva de los animales nuevos que constantemente se están incorporando a la línea de producción. Este grupo de ganaderos es de hecho el soporte del proceso de mejora genética de una población racial determinada.

## **La empresa de sementales**

Todos los países con ganadería lechera desarrollada tienen programas oficiales de control del producto mediante los cuales se captura toda la información posible acerca de los hatos o rebaños incorporados a ese control.

Las empresas que se dedican a probar y evaluar sementales, se valen de la información generada por los programas de control lechero, utilizándola para realizar evaluaciones estadísticas de las poblaciones y de esta manera pueden asignar valores de mérito genético a los animales bajo su monitoreo.

Es absolutamente indispensable que la información que procesa y obtiene cada empresa sea lo más precisa y completa posible, porque de esto depende cualquier predicción correcta que se haga sobre el mérito genético de los sementales.

La empresa de sementales también tiene como funciones detectar vacas de calidad que sirvan como receptoras de semen superior o eventualmente como ovuladoras múltiples para realizar la transferencia embrionaria.

Lo anterior sólo se da en el marco de un bien estructurado programa de control (información) del rebaño lechero, que de hecho sucede en los países desarrollados, siendo deficiente en países en desarrollo.

### **5.1.1 Programas de pruebas de comportamiento y progenie**

En las pruebas de comportamiento y progenie resulta clave la naturaleza de los caracteres económicamente importantes, así como las circunstancias ambientales y de manejo, dentro de las cuales la clase animal se destina para fines comerciales. Los caracteres limitados por el sexo son: rendimiento de leche, comportamiento maternal, rasgos que requieren el sacrificio del animal, evaluación de la canal, y los que se expresan tarde en la vida requieren enfoques especiales para estimar los valores de cruzamiento.

La tasa reproductiva, y en particular el número de descendientes que deja un macho o hembra superior, influyen sobre la inversión que puede justificarse en el proceso de prueba de comportamiento o progenie. Por medio de inseminación artificial es posible obtener hasta 50 000 descendientes al año de un toro de ganado lechero probado; por lo tanto, es aceptable una fuerte inversión con el fin de obtener datos precisos sobre la capacidad de transmisión de dicho individuo. En contraste, cuando un macho deja sólo 20 ó 30 hijos por año, se justificaría, desde el punto de vista genético y económico, una inversión mucho menor para las pruebas de comportamiento y progenie. Las pruebas de progenie de hembras están más restringidas, incluso con la superovulación y el trasplante de embriones. El número de descendientes obtenidos es limitado, pero también se dispone de los datos individuales de comportamiento como una base para la selección. El comportamiento de un animal es el resultado de su herencia y del impacto acumulativo de circunstancias ambientales desde el momento de la fecundación hasta que se hace la medición u observación. Una de las principales inquietudes para evaluar este comportamiento es asegurar que las expresiones fenotípicas de los animales o descendencia de los individuos que están siendo comparados, se realice en condiciones semejantes. Cuando es posible identificar efectos ambientales conocidos y determinar su influencia, resulta útil y deseable el ajuste estadístico que utiliza factores de conversión y estandarización; este es el caso de la edad al parto, la frecuencia de ordeñas para los rendimientos de leche por lactación en ganado lechero, o la edad de la hembra y temporada de parición para los pesos a los 205 días en los becerros de ganado de carne. Los programas de pruebas de comportamiento deben incluir una porción suficiente de la población para contar con una base amplia a partir de la cual se seleccionará el grupo reproductor. La probabilidad de identificar a los individuos realmente superiores se incrementa al crecer el número de animales probados, suponiendo que se pueda hacer una determinación razonable y precisa del comportamiento. De manera ideal, todos los animales en las unidades de crianza deberían probarse para brindar una base sólida tanto para la selección del hato de cría como para la producción. El costo y dificultad encontrados en la obtención de ciertos datos sugiere que la información sea recolectada a partir de una muestra apropiada y confiable de la progenie y del hato. Enfatizar una exactitud extrema puede ocasionar que se utilice una porción muy grande de la población para cada prueba de progenie, de manera que el número de animales probados se vería muy restringido. La correlación entre el valor de cruzamiento y la medida de comportamiento de la prueba de progenie podría no aumentar lo suficiente para compensar la reducción en la intensidad de selección. Puede lograrse un avance genético más rápido al probar más individuos con una exactitud un poco menor. También el tiempo es una preocupación cuando se puede medir el comportamiento de un individuo; son posibles dos ciclos de selección individual durante el tiempo que se requiere para una prueba de progenie.

### **Pruebas en ganado lechero**

Muchas circunstancias favorecen las pruebas de progenie en los sementales del ganado lechero. La producción de leche es un rango limitado por el sexo y, el valor de cruzamiento de los machos debe predecirse a partir del comportamiento de sus parientes cercanos y de la progenie. La rápida aceptación de la inseminación artificial y el avance en las técnicas para congelar y conservar el semen bovino, extiende el uso de los sementales sobresalientes con progenie probada una vez que son identificados.

Los programas planificados de pruebas de progenie junto con la inseminación artificial y prueba de producción, ofrecen oportunidades excepcionales para mejorar la precisión de las evaluaciones de los sementales de ganado lechero. El uso de un mismo toro en muchos hatos, bajo diferentes condiciones de manejo, constituye la "prueba de fuego" para evaluar la capacidad de transmisión de habilidades de producción por un semental. Algunas ventajas de este tipo de programas son:

La prueba de progenie se puede obtener en edad temprana, lo que indica de manera confiable cómo se comportarán las futuras hijas del semental.

Los riesgos de la prueba de sementales se distribuyen entre muchos hatos, y el número de hijas de sementales inferiores se reduce para la industria en su totalidad.

Dado que las hijas de un toro se dispersan entre muchos hatos, hay menos probabilidades de que las tendencias del hato, circunstancias ambientales especiales o interacciones genotipo-ambientales influyan de modo indebido en la prueba.

Algunas de las principales limitaciones de este tipo de programas son:

El costo de manutención de toros jóvenes en espera de los resultados de las pruebas de progenie puede ser muy elevado.

Para que tenga éxito, es esencial un programa de prueba a fondo mediante la educación y cooperación de los ganaderos asociados.

Tanto el costo como el tiempo invertido en un programa de prueba de progenie son grandes; sin embargo, el uso de toros sobresalientes probados con inseminación artificial ofrece la mejor oportunidad para el mejoramiento futuro, aunque no se dispone ahora de métodos abreviados para obtener dichos animales.

### 5.1.2 Programas de pruebas de progenie

Los principales esfuerzos de la prueba comparativa de progenie de sementales de ganado lechero se relacionan con el apareamiento de las mejores vacas con los mejores toros probados, mediante inseminación artificial (IA), a fin de obtener toros jóvenes para la prueba de progenie. Dichos toretes seleccionados por pedigrí, se muestrean cuando tienen cerca de un año de edad para obtener suficientes hijas para la prueba.

Deben considerarse varias cuestiones importantes en la organización de los programas de prueba de progenie, con el objeto de utilizar los recursos de manera efectiva:

¿Cuántas vacas con prueba de producción estarán disponibles en la unidad de crianza o población?

¿Cuántos toros seleccionados por pedigrí deben probarse cada año?

¿Cuántas hijas probadas por toro deben utilizarse para la prueba inicial de progenie?

¿Qué proporción de hembras deberán cruzarse con los toros de pedigrí seleccionados?

#### Métodos de expresión de las pruebas de progenie

Se han hecho muchas proposiciones para expresar los resultados de las pruebas de progenie; en el caso de la leche, el rendimiento por lactación, estandarizado a los 305 días, dos ordeñas diarias (2X) y equivalente maduro (EM) es una unidad fundamental de medición. Si el número de hijas es muy grande, se incluye a todas sin selección, y los

niveles de alimentación y manejo deberán ser iguales para las futuras hijas; de esta manera el promedio de las hijas proporciona una indicación confiable del comportamiento de las futuras descendientes que contendrán información actualizada sobre el comportamiento de su progenie, que una vez que se prueban los sementales los resultados se publican en los llamados resúmenes de sementales; los evaluados bajo el *modelo animal* proporcionan información sobre el valor de cruce de un semental dado. Este valor es sinónimo de su *habilidad de transmitir* una fracción de su superioridad a su progenie, y como se trata de un pronóstico o una estimación se le denomina *habilidad de transmisión estimada* para leche, proteína, grasa y tipo (véase muestra en el anexo). Todos los valores expresan la desviación de las hijas de un toro, del promedio de todo el grupo genético de donde proviene; así, si un toro tiene valores de la H.T.E. para leche de +600 kg, esto significa que se espera que sus futuras hijas puedan superar a la vaca promedio aproximadamente por 600 kg de leche por lactación y sobre la base de edad adulta. Se dice aproximadamente porque se trata de un pronóstico a partir de un comportamiento previo de su progenie, y como todo pronóstico suele ser una aproximación. Por tratarse de un punto de partida a superar, se considera como base el valor cero, cualquiera que sea el promedio; así, si el promedio vigente es de 7 000 kg para toda la población, éste es base cero en el sistema estadounidense (que se toma como punto de referencia). El sistema europeo tiene como base el promedio de 100 y lo expresa porcentualmente. Todos los fenotipos productivos se tratan de igual forma, trátense de proteína grasa o tipo de tal forma que todos los valores deben estar por encima de cero o del promedio general.

## 5.2 Mejoramiento en ganado de carne

El mejoramiento genético del ganado con propósito cárnico se realiza bajo los mismos principios que en el ganado lechero con diferencias conceptuales y de fenotipos a elegir.

La evaluación más moderna y exacta del valor genético en el ganado de carne es la diferencia esperada de la progenie (*DEP*), la cual es un cálculo estimado de lo que la futura progenie de un semental podría superar en la media de un grupo genético dado. Esta evaluación es equivalente a la habilidad predicha de transmisión del ganado lechero; la *DEP* se calcula considerando el rendimiento relativo del animal en cuestión utilizando un índice de un grupo contemporáneo, así como de parientes cercanos. Esta evaluación que se hace según el esquema de cálculo del modelo animal, permite comparar directamente los animales de su raza y facilita la selección y clasificación de toros por las diferencias de manejo o ambientales entre hatos.

Los principales fenotipos que son evaluados en la *DEP* son: peso al nacer, peso al destete, peso al año, facilidad de parto, y leche materna.

Dependiendo de la raza son los valores, los que representan desviaciones de la media de un grupo genético dado; así, si un toro tiene una progenie que tiene un valor de +2kg para peso al nacer, quiere decir que su progenie supera en este fenotipo en 2 kg a la media poblacional vigente, la cual tiene como base el cero sin importar cual sea la cantidad real; cabe aclarar que por ser la media de la población lo que se pretende mejorar, este valor se convierte en base cero.

Los valores de la *DEP* tienen mayor o menor constancia o precisión predictiva; esta precisión equivale a la fiabilidad en el caso del ganado lechero; mientras más probado está un toro, habrá más precisión de predicción para los valores *DEP*. Todos los resúmenes de sementales evaluados con el modelo animal presentan para cada valor *DEP* su

correspondiente valor de precisión, que se expresa en escala porcentual; valores por encima de 75% corresponden a animales con suficiente nivel de prueba, y, por tanto, más confiables; los toros jóvenes que tienen poca progenie reportan valores bajos (50% o menos).

### 5.2.1 Programas de cruzamiento en los trópicos

Los intentos iniciales de cruzamiento en los trópicos estuvieron dirigidos a la introducción de razas de clima templado para encastar al ganado nativo. Debido a que el control de enfermedades y las prácticas ganaderas eran pobres, hubo muchos problemas, y los intentos de producir animales con sangre europea se tornaron impopulares. También hubo gran descontento de muchos programas de mejora cuando generaciones subsiguientes fracasaron en mostrar las mejoras de las primeras cruas.

La primera generación ( $F_1$ ) de animales cruzados, generalmente produce el doble de cantidad de leche que las razas olvidando la necesidad de mantener alguna adaptación a las condiciones locales. Una vez que la  $F_1$  nativas, de modo que los granjeros se sienten tentados a continuar la crua absorbente es obtenida, los planificadores deben decidir si continúan la crua absorbente en cualquier dirección o mantienen un hato cruzado mediante cruzamientos alternados con toros tanto europeos como cebúes, o entre los animales de la  $F_1$  para seleccionar o desarrollar una raza sintética.

#### *Crua absorbente*

Muchos proyectos de mejora para la producción de leche tienen como objetivo que el ganado local sea completamente absorbido por una raza supuestamente más rentable, tanto del grupo europeo como del grupo cebuino.

La decisión de continuar hasta una completa absorción o de detenerse, cuando se dan proporciones particulares de sangre tanto local como mejorada, puede tomarse según las condiciones ambientales y de comportamiento de la raza pura comparada con las cruas.

Durante cualquier programa de cruzamiento de este tipo, el mérito racial no puede ser el único factor para la mejora; debe continuarse con un intenso programa de selección para la producción de leche de acuerdo con las condiciones locales. Hay muchos ejemplos.

#### *Cruzamientos continuos*

La heterosis parece ser importante para la producción de leche en ambientes tropicales rigurosos, de tal forma que el cruzamiento sistemático es una práctica de elección. La tradición lechera con razas uniformes en áreas templadas ha olvidado ese método. Para desarrollar una nueva raza apropiadamente, un buen sistema de registro de producción y pruebas de progenie basadas en la inseminación artificial son necesarias. Usualmente estos factores no están disponibles en los trópicos, de tal forma que los cruzamientos continuos organizados son una alternativa práctica. La crua alterna o rotacional parece ser el más adecuado método para el mejoramiento en ambientes menos desarrollados y difíciles. Cruzar generaciones alternadas de vacas con toros europeos y cebúes, proporciona un balance entre la producción de leche y la rusticidad. El método trata de mantener la proporción promedio de genes de cada tipo involucrado cercano al 50%; sin embargo, individuos con varias proporciones de sangre europea y cebuina están siempre presentes en el hato. Como resultado no hay una fijación de tipo y cada retrocrua mueve a la progenie hacia la raza de los padres que aumentan la proporción de una sangre.

Se ha sugerido que cuando el equilibrio ha sido alcanzado, vacas con 66% de sangre cebú y vacas con la misma proporción de sangre europea, serían fáciles de distinguir, de modo que deberían ser agrupadas en hatos separados para que las vacas con más aspecto cebuino fueran cruzadas con toros europeos, y las vacas con aspecto europeo lo fueran con toros cebú (de estirpe lechera).

Este sistema puede hacer uso continuo de nuevos toros probados, de tal modo que la mejora genética está asegurada. Los toros europeos pueden ser de origen local o importados de áreas donde hayan sido probados bajo condiciones tropicales.

### 5.2.2 Desarrollo de nuevas razas en el futuro

Actualmente los rendimientos de la mayor parte de las nuevas razas se ubican entre los 2 000 y 3 200 l por lactación, los cuales son un promedio aceptable considerando el gran número de granjas tropicales.

Seleccionar razas para cruzamiento es tarea importante desde el principio. La mayoría de las razas de tipo europeo han dado buenos resultados en cruces, pero parece ser que los futuros esfuerzos deberán concentrarse en el cruzamiento con el *Frisón/Holstein* en trópicos no muy rigurosos, y la raza *Jersey* para cruzamientos en trópicos más severos y donde predomina una alimentación deficiente. Esto se debe a que en los numerosos proyectos experimentales que se han desarrollado en diversas partes del mundo, los resultados de la balanza se han inclinado hacia estas dos razas; sin embargo, no quedan excluidas razas tales como la *Pardo Suiza* que está perfectamente adaptada en ciertas zonas tropicales de México y Latinoamérica (Venezuela) y con cuya participación se ha desarrollado una considerable población de animales cruzados de doble propósito, teniendo estos una aceptación considerable entre numerosos criadores.

Los toros de raza europea deberán ser seleccionados sobre la base del comportamiento de sus hijas mestizas ( $F_1$ ) en los trópicos. De las razas cebuinas, la *Sahiwal* tiene mucho que ofrecer y muchos animales mejorados están ahora disponibles (India, Australia). La proporción de cada tipo depende del clima y nivel de las prácticas ganaderas imperantes, aunque un 50% de sangre europea parece el adecuado, pudiendo elevarse al 63% en mejores condiciones.

Debido a que toma dos o tres generaciones establecer una buena bajada de la leche de población de vacas, y que la mejora anual en producción de leche sólo es de 1% al año, las nuevas razas tropicales deben ser utilizadas para el encaste; podría tomar hasta 30 años por ejemplo, alcanzar la producción de la *Jamaica Hope* siguiendo un programa de desarrollo de razas tropicales.

Una raza no deberá basarse en un sólo hato o en un número pequeño de toros, ya que el impacto a nivel nacional sería muy pequeño. El proceso, como es muy lento, es importante comenzar como un hato fundador de alto riesgo con una amplia variación para la selección. De la experiencia acumulada la generación  $F_2$  ofrece la más amplia variedad de genotipos, de tal forma que la selección no deba empezar hasta la segunda generación. La cruce seleccionada de animales  $F_2$  deberá dar la más adecuada base fundadora para una nueva raza.

Debido a que los cruzamientos entre cebú y europeo es un proceso muy activo en diversas partes del mundo, es recomendable el intercambio de reproductores entre países, lo que proporcionará una mayor base genética para nuevas razas.

## Métodos para mejoramiento genético

Los programas de mejora para producción de leche en los trópicos, han involucrado tanto el mejoramiento dentro de una raza como los cruzamientos interraciales.

No sólo por animales genéticamente superiores se dan incrementos dramáticos en la productividad del ganado en el trópico; sin embargo, es un prerrequisito para esta mejoría. Hay diferentes opiniones sobre cómo obtener el mejoramiento genético.

### Selección dentro de la población local

El ganado nativo se ha adaptado en una región en particular, para las condiciones en la zona por selección natural a través de generaciones. En contraste ha habido, con excepciones, poco o nada de selección artificial para productividad en ganado tropical. Por los resultados impresionantes obtenidos de la selección en varias razas lecheras de zona templada, debe haber una amplitud considerable para mejorar ganado del trópico por selección. La variabilidad, en cuanto al coeficiente de variación, es generalmente más alto en el trópico que en el ganado de zona templada, aunque la variación en unidades verdaderas es menor. Pocos estudios de heredabilidad basados en suficiente cantidad de información han sido reportados del trópico, pero la mayoría de las estimaciones disponibles caen en el mismo rango que las razas de clima templado.

En la mejora moderna de razas lecheras en países templados, 60-70% del avance genético deriva de la selección de toros en base a la prueba de progenie. El uso de registros que es necesario para apoyar un programa amplio de prueba de progenie está faltando en la mayoría de los países tropicales. Grabación y selección por lo general están restringidos a instituciones y otros grupos de gobierno donde la mayoría son muy chicos para que apliquen la prueba de progenie. A menos que esto pueda cambiar, la selección para cualidades lácteas mejoradas dentro la población local puede ser un proceso lento. El progreso se limita por el intervalo largo entre las generaciones, por la llegada a la madurez o una edad grande.

### Introducción de razas tropicales mejoradas

Algunas razas de ganado Cebú, como el *Sahiwal*, el *Sindhi rojo* y el *Tharparkar* han sido seleccionados por mucho tiempo debido a su alto rendimiento de leche y han alcanzado un potencial de lácteos mucho más alto que otro ganado tropical. Esta es una fuente que se puede explotar para mejorar el lote que no se ha mejorado. Después de dos o tres generaciones de cruza (*backcrossing*) de la raza mejorada, la herencia de la población del ganado local ha sido reemplazada por completo. El riesgo de perder adaptabilidad por este proceso es pequeño; el ganado *Sahiwal* se ha adaptado bien a las condiciones de cuatro continentes. Para repetir este mismo proceso sólo por selección del lote local, puede necesitar diez o más generaciones. Sin embargo, las razas mejoradas que se mencionan no son numerosas, y lotes de cruza de alta calidad no son fácilmente disponibles.

### Introducción de razas templadas

Los reportes de un alto rendimiento de leche en algunos países templados y buena publicidad han hecho creer a muchos criadores de animales en el trópico que la importación de *Bos taurus* es la clave para resolver el problema de bajo rendimiento. En algunos casos la introducción de razas templadas en países tropicales ha sido exitosa, pero en otros casos desmotivante y/o desastrosa.

Enfermedades, alto índice de mortalidad y baja fertilidad, han sido problemas comunes en los animales importados y su progenie; los que han sobrevivido y reproducido no han alcanzado los niveles de producción esperados. Manadas de pura sangre, tipo europeo y otras razas lecheras, pocas veces han promediado 3 000 kg de leche por lactación. La progenie que nace en un país tropical muchas veces produce menos leche que la de sus madres, que se importaron como vaquillas. En base a experiencias recientes, los *Bos taurus* pura sangre para producción de leche, sólo se recomiendan en lugares donde el clima es moderado, exista buena alimentación, se realice un buen manejo y los servicios de salud se encuentran disponibles.

#### Cruzas con razas lecheras *Bos taurus*

A pesar de que *Bos indicus* y *Bos taurus* se consideran especies diferentes, la cruce entre ambos es fértil y producen progenie con fertilidad normal; ello se ha realizado por mucho tiempo. Los primeros reportes de dichas cruzas aparecieron hace más de 50 años, y desde entonces se han publicado varios artículos sobre este tema. En la mayoría de los casos de hembras del lote local han sido cruzadas con machos de raza *taurus* mejoradas. En años recientes se ha usado con frecuencia el semen congelado. Los resultados obtenidos son consistentes.

En la mayoría de los casos la cruce con una raza *Bos taurus* lechera se ha reflejado en un incremento en el rendimiento de producción en la primera generación híbrida ( $F_1$ ), comparado con el lote local. En general las vacas  $F_1$  producen de dos a tres veces más leche que las nativas, aun cuando las cruzas se realicen con vacas de fundación de una raza cebú, el incremento es mayor al 50%. Las cruzas también maduran a una edad más temprana y tienen intervalos más cortos de preñez. No hay una diferencia notable en la viabilidad y resistencia a enfermedades entre el lote nativo y la primera generación de cruzas.

Estos resultados favorables de cruza se daban por hecho a la superioridad de las razas exóticas, y se recomienda la introducción de más características de *Bos taurus* mediante cruza repetidas. Sin embargo, el mejoramiento anticipado no ocurrió, y en muchos casos hubo un decremento en el desempeño observado cuando el nivel de contribución de *Bos taurus* excedía de un medio a cinco octavos. La mortalidad se incrementó, la fertilidad se deterioró y el rendimiento de leche declinó. La falta de adaptación a las condiciones del trópico fue obvia.

Cuando se observó que el cruzamiento hacia las razas *taurus* no era recomendable en estas condiciones, el siguiente paso fue tratar de estabilizar el nivel de herencia exótica a la cual se supuso fuera la óptima, al mezclar cruza intermedias entre sí. Pero nuevamente la experiencia resultó desmotivante. En la mayoría de los proyectos por lo que se producían animales  $F_2$  (de  $F_1 \times F_1$ ) en cantidades numerosas, ocurrió una disminución considerable en el desempeño. El rendimiento de leche en  $F_2$  fue de un 20-25% menos que en  $F_1$  y al mismo tiempo la edad a la primera preñez y el intervalo de preñez se incrementó considerablemente. En generaciones subsecuentes, el nivel de desempeño de  $F_2$  se mantuvo constante.

La explicación más obvia de la superioridad de  $F_1$  comparada con los otros es que hay una gran cantidad de heterosis en las cruza *Bos indicus* con *Bos taurus*, mayor que en cruza entre varios tipos de *taurus*. En un experimento, las diferencias entre varias cruza se separaron en efectos aditivos y heterosis. La magnitud de heterosis en  $F_1$  se estimó en más

400 kg de rendimiento de leche, -4.4 meses de edad a la primera preñez, +15 días de lactación y -31 días para el intervalo de preñez. En proporción a la medida estimada, la heterosis en el rendimiento de leche fue de 26%, mientras que en los cálculos en las cruza de *Bos taurus* van de 0 a 10 por ciento.

Se propuso la introducción de una segunda raza *Bos taurus* para evitar retrocesos de  $F_1$  a  $F_2$  y generaciones subsecuentes, cruzando hembras  $F_1$  con machos de esta raza o cruzando  $F_1$ 's de las dos razas. Para evitar los retrocesos del  $F_1$  al  $F_2$  y siguientes generaciones, la introducción de una segunda *B. taurus* ha sido propuesta entre las opciones de  $F_1$  cruzando hembras con los machos de los *taurus* o criando  $F_1$  de las otras dos cruza. Un gran número de *B. taurus* ha sido usado para cruzamiento en el trópico; los más utilizados son *Friesian*, *Jersey*, y *Pardo Suizo* que ha servido en muchos proyectos. En varios casos esas tres razas, o dos de ellas, han sido empleadas simultáneamente y estos proyectos han dado una buena base para comparar los méritos de varias razas para cruzar con *B. indicus*. Una vez más los resultados son sorprendentemente consistentes en todos los casos donde una comparación directa es posible; la crusa de *Friesian* ha producido más y la de *Jersey* menos leche que los *Suizos Pardo*.

**CUADRO I**  
CAPACIDAD DE VARIAS CRUZAS DE *Bos taurus* VS. *Bos indicus* (PROMEDIOS COMBINADOS)

Producción de <i>B. taurus</i>	Edad a un parto	Producción de lactación (kg)	Duración de lactación (días)	Intervalo entre partos (días)
0	42.3	1 069	274	452
1/8	41.1	1 456	291	441
1/4	37.3	1 525	283	444
3/8	36.1	1 614	295	433
1/2( $F_1$ )	31.9	2 056	306	423
5/8	33.6	2 042	296	424
3/4	33.8	2 097	301	444
7/8	34.6	2 021	301	450
1	32.6	2 122	322	459
1/2( $F_2$ )	34.8	1 557	292	441

Todos los grupos excepto  $F_2$  fueron engendrados por razas puras de *B. taurus* o *B. indicus*.

**CUADRO II**  
CAPACIDAD DE  $F_1$ , ENTRE CRUZAS DE *B. indicus* Y VARIAS RAZAS DE *B. taurus*

Razas de <i>B. taurus</i>	Edad en el 1er. parto (meses)	Producción de lactación (kg)	Intervalo entre partos (días)
<i>Friesian</i>	32.6	2 166	429
<i>Suizo Pardo</i>	34.5	1 917	432
<i>Jersey</i>	31.6	1 725	410

Las cruzas *Jersey* normalmente han sido las más jóvenes al primer parto y han tenido intervalo entre partos más cortos. Estos experimentos han sido efectuados en varias condiciones; los resultados tal vez indiquen que el genotipo e interacciones del ambiente no son tan importantes si el genotipo es restringido a un nivel dado de herencia de *B. taurus*.

Nuevas razas por cruzas de *B. indicus* con *B. taurus*.

Esfuerzos para desarrollar mezclas de *B. indicus* con razas de *B. taurus* han sido particularmente exitosos para crear ganado de carne adecuado en condiciones tropicales; el desarrollo del ganado lechero ha sido mucho más lento pero recientemente varias razas lecheras prometedoras de la mezcla de ancestros *B. indicus* con *B. taurus* han emergido.

La *Jamaica Hope* probablemente fue la primera raza lechera de esta categoría; resultó de un programa de cruzas comprensivas que se inició en 1910 en el rancho *Hope* cerca de *Kingston, Jamaica*. Este programa incluía varias razas europeas como *Sahiwal* y vacas de origen mixto; la raza *Jamaica Hope* a recibido de herencia 80% *Jersey*, 5% *Holstein* y 15% *Sahiwal*. Esta raza está más adaptada a las condiciones locales y es superior a la *Holstein-Friesian* en producción total a estas condiciones; la producción de leche es de aproximadamente 3 000 kg. por lactación. En hatos comerciales se han reportado animales que se usan para criar y el semen fue exportado a varios países de Latinoamérica.

En Brasil la raza *Pitangueiras* ha sido creada por la cruce *Guzerat* con *Red poll*. La raza está creada por una composición de 5/8 de *B. taurus* y de 3/8 de *B. indicus*. Tienen un promedio de producción de leche de 2 500 kg por lactación, reportado por un rancho de Sao Paulo.

La importación de animales *Sahiwal* y *Red Sindhi* de Australia en 1950, inició dos proyectos cuya meta fue desarrollar razas lecheras de combinación de origen *indicus-taurus* adecuado para la parte tropical de este continente. El primer proyecto con *Jersey* como raza *taurus*, dio a la formación de *Australian Milking Zebu (AMZ)*, que reportó un 40% de herencia *Bos indicus* (principalmente *Sahiwal*).

Después de las generaciones iniciales por cruce de la primera generación entre sí ( $F_1$ ), la población fue sujeta a selección intensiva de hembras para rendimiento de producción de leche y bajada de la leche.

Pruebas para encontrar tolerancia al calor y resistencia a garrapatas fueron aplicadas a los toros jóvenes antes de que fueran seleccionados para criar. Después un programa de pruebas de progenie fue establecido con la meta de probar 6 toros por año para prueba de progenie. La nueva raza ha sido aceptada muy ampliamente por los productores lecheros en el área, y animales de cruce y semen han sido exportados a otros países tropicales.

En el segundo proyecto la contribución *B. indicus* fue restringida a *Sahiwal*, mientras el lado *taurus* era representado predominantemente por *Frisón*. El procedimiento de cruce y selección fue similar a lo descrito para *AMZ*, excepto la prueba de tolerancia al calor. El *Australian Friesian*, como ha sido nombrada la población de esta cruce, está todavía en las primeras etapas de desarrollo, pero los resultados hasta ahora son prometedores.

En la India un gran número de proyectos para vacas de cruces se han desarrollado, pero hasta la fecha muy pocos han dieron resultados en el origen de nuevas razas.

Uno de los pocos trabajos efectivos de cruce de razas, fueron iniciados en 1963 en el Instituto Nacional de Investigación Lechera de *Karnal*. En este proyecto, hembras *Sahiwal* (y

unos cuantos *Red Sindhi*) fueron cruzados con toros *Pardos Suizos* (semen importado) para producir una producción de  $F_1$ . En etapas posteriores de  $F_1$  y cruza anteriores recíprocas tuvieron lugar. La nueva raza nombrada *Karan Suizo*, es en promedio mitad *Sahiwal* y otra de *Suizo Pardo*. La primera generación de cruza fue realmente excelente, con un primer promedio de producción de lactación aproximadamente de 3 000 kg de leche en el hato del Instituto. Este alto nivel no ha sido mantenido en las generaciones siguientes, pero aún así el *Karan Suizo* es una prometedora contribución para el cruce de ganado lechero en el trópico.

Dicho Instituto ha desarrollado otra raza *Karan Friesian*, que es derivada del cruce de *Sahiwal* con *Friesian*. Resultados recientes en el hato del Instituto sugieren que el *Karan Friesian* es por lo menos competitivo con el *Karan Suizo* en producción de leche; hasta el momento las dos nuevas razas no han sido extendidamente usadas fuera de *Karnal*.

### Conclusión

Los resultados comentados indican que el cruce de *B. indicus* x *B. taurus* es superior a su progenie para producción de leche bajo la mayoría de condiciones de los trópicos. Con excepción de las tierras de altitud, donde el ganado puro europeo puede mantenerse sin serios problemas y áreas con diversas condiciones climáticas adversas, el ganado puede ser recomendado si el incremento de producción de leche es deseable.

La proporción de herencia *B. taurus* en cruces interespecies depende de las condiciones climáticas y el nivel de alimento y mantenimiento a los que van a ser expuestos. Muchos autores han concluido que los mejores resultados son obtenidos por cruza de igual proporción de genes de las dos especies. Esta conclusión normalmente está basada en la buena capacidad del  $F_1$  comparado con los más altos grados de producción.

Con un estimado de los méritos de las generaciones posteriores (intercruza  $F_2$ ), estos resultados tal vez sean mal guiados por la pérdida parcial de heterosis. Esta pérdida es más dramática en los niveles intermedios de las dos razas progenitoras.

El único sistema de cruzamiento que es aplicable a vacas lecheras, es la cruza rotacional y formación de una raza mezclada ( $F_1$ ). En cruza rotacional con dos razas,  $2/3$  de heterosis de  $F_1$  es explotado en comparación con la mitad en una mezcla de dos razas con igual proporción. Generalmente la heterosis se incrementa al incluir una tercera raza por rotación, pero en este caso la raza adicional probablemente reduciría la heterosis.

En una rotación de tres razas con dos de *B. taurus*, el promedio de heterosis de *taurus* contra *indicus* sería de  $4/7$ . En adición  $2/7$  de la heterosis en cruza entre los dos *B. taurus* puede ser expresada. Una raza mixta al mismo nivel de herencia de *B. taurus* puede tener  $4/9$  de heterosis *taurus*. Una cantidad ligeramente más grande de heterocigosis en una cruza rotacional que en la cruza mezclada, probablemente no es lo suficiente para superar la complejidad operacional del esquema.

La conformación de la mezcla de las razas *B. indicus* y *B. taurus* ha sido más lento en ganado lechero que en el de carne. Unas cuantas poblaciones cruzadas de vacas lecheras han sido elevadas al estatus de raza que básicamente indican razas con un poco de herencia *taurus* (MPWAPWA) y básicamente con una pequeña proporción de genes *indicus* (*Jamaica Hope*). Razas con igual contribución de las dos especies incluyen *Pitanguerías* de Brasil ( $3/8$  *indicus*) y dos razas australianas: *AMZ* y *Australian Friesian Sahiwal*; datos comparables en los méritos relativos de estas razas no son accesibles.

El programa de selección, un poco sofisticado aplicado cuando se desarrolló el AMZ, tal vez sugiere que esta raza tiene algo que ofrecer; a parte de esto no hay razón para creer que un toro de esta mezcla de raza establecida debe ser preferida a un  $F_1$  o a un toro de cruce anterior derivado de las mismas razas. La manera más directa para establecer una fundación para una nueva raza es la de usar toros *B. taurus* para una o dos generaciones hasta que el nivel de herencia deseable *taurus* haya sido logrado y después empezar la cruce entre ellos.

Un problema encontrado en este programa, particularmente cuando se estabilizaron en niveles intermedios, es el deterioro en capacidad en la primera generación de cruces entre ellos mismos, asociados con la reducción de heterocigosis (y posiblemente con pérdida epistática). Los ganaderos tal vez no entienden esto y pierdan la confianza en el programa; para evitar estos atrasos a veces ha sido recomendado el cruce de  $F_1$  hembra con  $F_1$  y toros europeos diferentes; la evidencia experimental para soportar este procedimiento es escasa. Teóricamente la única ventaja del cruce de tres razas (dos *B. taurus*, los dos al nivel del 25%) sobre un  $F_2$  ordinario, puede ser  $\frac{1}{4}$  de heterocigosis observada en cruces entre las razas de *B. taurus* involucradas. La heterosis en la cruce de *B. taurus* es pequeña para los rasgos de importancia en ganado de leche, más aún  $\frac{1}{2}$  de heterosis expresado en la primera generación puede perderse en las siguientes generaciones (por cruzarse entre sí). La inclusión de una segunda raza *B. taurus* puede ser una complicación innecesaria.

Otra alternativa es el uso de toros cruzados con la combinación cruzada de *indicus-taurus* desde el principio. Así, graduando toros de  $\frac{1}{2}$  raza solamente 50% de  $F_1$  la heterocigosis es expresada en la primera generación, pero este nivel es también mantenido en las generaciones subsecuentes. El progreso va ser más lento que si toros *taurus* de raza pura son utilizados en la generación inicial; pero el deterioro que normalmente ocurre en  $F_2$  puede ser evitado. Otra posible ventaja es que esta estrategia puede dar a los ganaderos más tiempo para alimentar y manejar las necesidades de los animales más productivos. La contribución *B. indicus* a la raza mezclada para producción de leche debe ser preferiblemente de una de las razas mejoradas de leche; v. gr. *Sahiwal*. La selección de la raza *B. taurus* debe ser determinada por la importancia relativa asignada a la producción de leche y grasa de leche. Cruzas de *Freisian* son superiores en producción lechera mientras las cruzas de *Jersey* pueden producir grasa más económicamente; el *Pardo Suizo* es intermedio a las otras dos razas en rasgos de producción pero maduran un poco más tarde; estas son solamente pequeñas diferencias entre razas de *B. taurus* en su habilidad para adaptarse a condiciones tropicales; el primer paso en un programa de cruce de ganado es asegurar una fuente de buenos toros. En países donde la producción de leche es restringida a hatos del gobierno la producción de toros toma un lugar en tales hatos. Algunos de estos raza superior de *B. taurus* escogidos, en la mayoría de los casos por inseminación artificial con semen importado; de esta manera el programa puede mejorar el trabajo de cruzamiento en países templados.

Puede ser discutible que los toros que han sido los mejores bajo estas condiciones (templadas) no son necesariamente los mejores en los trópicos, v. g.: que haya una interacción genotipo-ambiente, que tiene que ser considerada aunque no haya evidencia que tal interacción existe; no existe la certeza de que toros individuales de la misma raza califican diferente en países templados y tropicales; los estudios indican baja correlación

entre pruebas de paternidad en condiciones templadas y tropicales, y han sido todas basadas en pequeños grupos de progenie en el trópico; la correlación debe esperar a ser baja aún en la ausencia de interacción.

**Algunos experimentos de cruzamiento de razas nativas y europeas para la producción de leche**

El cruzamiento del *cebú* con razas europeas modifica no sólo el tamaño sino también la configuración corporal, según puede observarse en los cruces. La joroba se aprecia escasamente con  $\frac{1}{2}$  *cebú* y desaparece en los cruces con  $\frac{1}{4}$  *cebú*. La grupa caída y la longitud de la cabeza parecen ser dominantes, ya que dichas características aparecen en todos los cruces con diversas fracciones de sangre. El tamaño de las orejas y las características de la ubre, tales como la forma, guardan una relación directa con la proporción de genes *cebú* que aparece en el cruce. El pelo corto del *cebú* es dominante en los cruces con vacuno *Jersey*. La conformación general y las ubres de los seis animales cruzados *Red Sindhi-Jersey* de primera generación, demuestran que con cualquier combinación la conformación de los animales es tan uniforme como en la mayoría de las razas puras.

**Rendimiento medio de cruces con  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  de sangre europea y de razas europeas puras**

Grupo racial	Rendimiento lechero promedio (kg)
Nativa pura (selecto)	1 444
Cruces ( $\frac{1}{2}$ sangre)	2 339
Europea (selecto)	2 222
Europea pura	2 974

En general, los cruces de la primera generación entre las razas europeas y *cebú* han sido en promedio superiores en un 15% en el peso corporal al nacer, y en el de 12% al 20% cuando tenía un año de edad; y el 6% al 20% superiores a los dos años con relación a los de *cebú* contemporáneos de raza pura. También es inferior la edad del primer parto en las novillas cruzadas. *Pearson* y col. (1986), entre otros, no hallaron las diferencias entre la frecuencia de abortos entre las vacas nativas,  $\frac{3}{4}$  europeo y  $\frac{1}{4}$  criollo, mientras que otros, tales como *Singh* y *Desi* (1964), informaron una mayor frecuencia de abortos en las vacas cruzadas. Otras pruebas procedentes de la India han demostrado un 7% de abortos en las vacas nativas, 12% en las cruces  $F_1$ , y 16% en los cruces con  $\frac{1}{4}$  de sangre nativa. Diversos investigadores han señalado un descenso en el rendimiento lechero cuando la proporción de sangre europea se desviaba de  $\frac{1}{2}$  o  $\frac{5}{8}$  en cualquier sentido. *Webster* y *Wilson* (1966), demostraron que esto resultaba igualmente cierto para el número de partos: el promedio era de 5.0 para los cruces de  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{5}{8}$  de sangre europea, y de 3.0, 2.5, 2.0 y 1.5 para cruces  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{7}{8}$ ,  $\frac{15}{16}$  y europea pura, respectivamente; estos estudios corresponden a pequeños grupos o a los rebaños separados, aunque se reúnan aparecen tendencias opuestas.

En numerosos experimentos realizados de cruzamiento de europeo con *cebú*, se observó que para el rendimiento lechero, los cruces  $\frac{1}{2}$  fueron un 62% superiores al promedio de las vacas nativas compañeras de rebaño. Los cruces  $\frac{3}{4}$  y  $\frac{7}{8}$  fueron un 40-50% superiores, aunque los cruces  $\frac{1}{4}$  de sangre europea fueron considerablemente inferiores. La duración del periodo de lactación tendió a aumentar con la proporción de sangre europea aunque la

edad del primer parto tendió a rechazarse. Parece que una o dos generaciones de cruzamiento con razas europeas pueden determinar unas proporciones lecheras de aceptables como las iniciales del ganado nativo selecto. Esto sugiere que, a menos que el cruzamiento se oriente hacia la producción de toros para distribuirlos en otras explotaciones, en los grupos selectos ya existentes deberían valorarse quizá sus respuestas a la selección antes de perderlos por su cruzamiento. Los resultados del cruzamiento son especialmente impresionantes por el hecho que los toros europeos fueron utilizados frecuentemente para fecundar vacas nativas pertenecientes a la mitad peor de los rebaños, mientras que las vacas mejores fueron fecundadas por toros nativos.

En los rebaños que poseían los dos tipos puros, las razas puras europeas fueron excelentes en su producción lechera aunque dichos rebaños eran los mejores que los rebaños medios encontrados en las explotaciones locales; las razas europeas puras estuvieron sometidas a unas condiciones ambientales casi similares a la de la raza nativa. En el resumen no se incluyeron una comparación entre los rendimientos de las vacas cruzadas y de las pertenecientes a razas europeas puras, aunque en los rebaños en que se hallaban juntas el ganado vacuno europeo tendió ser superior al cruzado en su producción lechera total y rendimiento por día de lactación.

Grupo racial	Rendimiento lechero (kg-media)	Duración de lactación (días-media)
$\frac{1}{2}$ Ayrshire	2.109	310
$\frac{1}{2}$ Frisona	2.859	307
$\frac{1}{2}$ Suiza parda	3.172	326

En la mayoría de los rebaños las razas europeas puras mostraron una viabilidad inferior que los cruces, siendo inferiores también en cuanto a la edad del primer parto, frecuencia de abortos y especialmente en su capacidad reproductora determinada por el intervalo entre dos partos. A pesar de que las razas europeas puras mostraron unos intervalos entre dos partos más prolongados que las razas nativas, fueron superiores sus producciones de leche por día de intervalo entre dos partos.

En la Tabla anterior se aprecia una cierta variación en los rendimientos de las vacas cruzadas según la raza europea intervienen, aunque la mayoría parecen estar asociados con la escasez del número de animales probados y con posibles diferencias en la calidad de los toros más que con las diferencias en la capacidad de combinación. En general, parece ser que todas las razas europeas se combinan satisfactoriamente con las razas nativas.

La raza *Holstein* y la *Pardo Suiza* continuarán siendo populares para los cruces a pesar de que el empleo de una raza pequeña como la *Jersey* proporcionaría animales más adecuados para los climas cálidos desde el punto de vista de resistencia al estrés térmico y que por consiguiente serían quizás más eficientes. La raza *Holstein* o *Frisona* posee varios factores a su favor, ya que sus cruces determinarán lactaciones más abundantes que los cruces con otras razas, y existe una mayor población de dicha raza, que dispone del más amplio programa de comprobación de la descendencia tanto en regiones de clima templado como cálido. La grasa corporal de color claro es preferible en la carne de vacuno porque no hace que la canal aparezca tan grasosa cuando la grasa es de color amarillo, color

característico de la raza *Jersey*. Los ingresos obtenidos de la venta de terneras cruzadas con la raza *Holstein* de un día de edad serán más que suficientes ordinariamente para cubrir el costo de la fecundación, cosa que no sucede con los cruces *Jersey*. La raza *Pardo Suizo* presenta muchas de las características de la *Holstein* y se ha popularizado también para cruzamientos; en América Latina probablemente el mejor procedimiento para determinar las razas o cruces más apropiadas consistiría en el examen de su potencia sobre la base de "mérito lechero total".

### Cruzamiento de absorción

El cruzamiento de absorción no se utiliza ampliamente en la zona templada, aunque sigue utilizándose mucho en las regiones del clima cálido, sí bien ha proporcionado resultados mixtos. Por ejemplo, en Israel se ha logrado un éxito bastante completo mediante el cruce de absorción del vacuno *Sirio* local con la raza *Frisona*. Incluso en Irán, India y en muchos otros países, los cruces de la primera generación rendían perfectamente, aunque los cruces retrógados (segunda generación de absorción) con la raza introducida solían rendir menos que las combinaciones entre  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{5}{8}$  (*Ambre y Jain, 1967*); las razones que suelen darse es que los cruces pierden su adaptabilidad, hecho que implica modificaciones de los procesos fisiológicos básicos para la termorregulación. Una explicación más sencilla parece consistir en que los malos rendimientos derivan primordialmente de un cambio de tamaño. Los ganados nativos eran típicamente menores que el tipo mejorado. Se produjo suficiente vigor híbrido en las cruces de la primera generación para que proporcionara buenos rendimientos en los ambientes locales. En los cruces retrógados con la raza introducida ( $\frac{3}{4}$  y  $\frac{7}{8}$  de sangre mejorada), disminuyó el vigor híbrido y aumentó el tamaño corporal por efectos hereditarios, por lo que se incrementaron materialmente las necesidades energéticas para el mantenimiento corporal. Esto determinó que los animales cruzados se viesen sometidos a un mayor grado de estrés nutritivo, que a su vez condujo a una alteración general de las funciones corporales y un rendimiento bajo.

En otros países, como Venezuela, dos o incluso tres cruces con una raza introducida de vacuno lechero, han proporcionado un éxito razonable antes de producirse la degeneración. También en este caso la causa principal de la reducción del rendimiento, por encima del nivel  $\frac{3}{4}$  ó  $\frac{7}{8}$  de las razas introducidas, pudo deberse a las limitaciones y la energía de los alimentos en relación con las necesidades para el mantenimiento y producción.

El cruce de absorción en los ganados locales presenta varias ventajas: es el procedimiento más barato para remplazar al ganado vacuno ya que solamente se necesitan sementales o semen; con el uso de éste pueden iniciarse rápidamente programas nacionales y regionales que permiten reunir, mediante la prueba de la descendencia, los resultados alcanzados en zonas donde ya se practica; permite además realizar ajustes graduales de los métodos locales para manipular los ganados mejorados. Indudablemente el cruce de absorción continuará practicándose. Cabe esperar que se producirá un mejor conocimiento de la necesidad de mejorar el nivel ambiental con cada generación.

## AUTOEVALUACIÓN

1. Mencione los pasos a seguir para elaborar un programa de mejora práctico a nivel de hato.
2. Defina índices de selección.
3. Defina índice de mérito neto.
4. Defina índice de producción/tipo.
5. Describa la expresión de las pruebas de progenie.
6. Que finalidad busca la cruce absorbente.
- 7.Cuál es el objetivo al realizar cruces de *Bos taurus* con *Bos indicus*.
8. Defina ampliamente el significado de raza sintética

## Capítulo VI

### PRUEBAS DE PROGENIE

Temas:

#### 6.1 Pruebas de progenie

#### Objetivo general

El alumno:

Comprenderá las bases genéticas en que se fundamentan las pruebas de progenie de los toros incluidos en los catálogos de sementales.

#### Objetivos específicos

Al finalizar el capítulo el alumno será capaz de:

- Aplicar sus conocimientos de genética en la evaluación de sementales mediante el comportamiento productivo de la progenie.

## Capítulo VI

### PRUEBAS DE PROGENIE

MVZ, Dr. Miguel Ángel Carmona Medero  
MVZ Jesús Zavala Rayas

Escoger el semen de los toros que van a ser utilizados para mejorar la producción de carne o leche en el hato, implica para el especialista conocer las técnicas de evaluación genética de los sementales, acordes con las frecuencias génicas de la población que pretende mejorar.

Debido al efecto de interacción genotipo-ambiente, la producción esperada de leche o de carne en la descendencia del semental no siempre muestra el comportamiento que de él se anota en el catálogo.

En el presente capítulo, se expone una técnica sencilla para elegir a los mejores sementales que deberán seguir utilizándose en el hato; además, se describen algunos de los procedimientos empleados en las pruebas de progenie.

En el curso de los años, la selección de los toros reproductores ha seguido las fases siguientes:

**Elección basada exclusivamente en el fenotipo.** El ganadero adquiere como sementales a aquellos ejemplares que han sobresalido en alguna exposición ganadera. Este es el método más antiguo, usado aun antes de la apertura de los "Libros Genealógicos". Este es uno de los métodos más discutibles, dado que el hecho de que algún toro tenga un tipo morfológico excelente, no garantiza que pueda transmitirlo a su progenie (Alberro, 1973).

**Selección del toro tomando en cuenta su genealogía o pedigrí.** La información de sus antepasados o de sus parientes colaterales en relación con la producción que han tenido es el criterio "lo bueno siempre produce bueno"; sin embargo, muchos ganaderos piensan que el prestigio de alguna finca es garantía suficiente para que de ahí todos los toros sean excelentes reproductores. Sobre este aspecto, un animal puede poseer muy buenos antecedentes en su familia, tanto por tipo como por producción, pero aun así, el mismo animal puede ser un mediano transmisor e incluso incidir en forma negativa en su prole, dado que, en lugar de mejorar el rendimiento de su progenie, lo disminuye (Alberro, 1973).

**Decisión basada en la descendencia del semental.** En ello consiste la prueba de progenie.

**Elección basada en el "modelo animal".** Integra la información del comportamiento individual basada en el mejor fenotipo, la información de sus ancestros y parientes colaterales, además de la que proporciona el comportamiento de su progenie.

Las evaluaciones genéticas para tipo y producción en los Estados Unidos de América son calculadas usando los procedimientos para el modelo animal, propuesto por Henderson (1972), con el cual se obtienen las habilidades de transmisión predichas (PTAs). La Asociación Holstein en los Estados Unidos calcula las evaluaciones genéticas para las características de tipo y el Departamento de Agricultura de ese país a través de los Programas de Laboratorio para el Mejoramiento Animal (USDA - AIPL), calcula los PTAs para las características de producción, conteo de células somáticas, vida productiva y mérito neto.

Los registros de producción son estandarizados considerando los efectos de edad, estación de parto, número de lactancia y número de días abiertos en la lactancia anterior. Todos los registros son estandarizados a 2 ordeñas de 305 días y a una base de equivalente maduro. Un registro de lactación es incluido en la evaluación, si tiene un mínimo de 40 días en producción. Los registros de las vacas muertas por alguna razón no relacionada directamente con la producción láctea, son incluidos en la evaluación si el animal ha producido leche un mínimo de 15 días. Los efectos de edad y estado de la lactación sobre un conteo final, así como las características lineales en el momento de la clasificación, son incluidos como una rutina de cálculo en el modelo animal, lo cual asegura que los factores de ajuste estén actualizados en cada evaluación genética (Holstein Association, USA, Inc. 2001).

La base genética es definida como el promedio de todos los animales, hembras y machos, nacidos en 1995. El promedio de PTAs para leche, grasa, proteína y tipo es cero.

Los cambios de base serán efectuados cada 5 años (Holstein Association, USA, Inc. 2001).

Solamente un reducido número de becerros nacidos cada año son seleccionados con base en su genealogía y se conservan para ser criados como futuros sementales; estos animales posteriormente serán probados a través de su descendencia. Al final, la calidad de los hijos, hembras o machos, determina el nivel que ocupará un toro como reproductor dentro del catálogo de sementales.

El programa de prueba de progenitores lecheros jóvenes en Canadá permite suministrar un flujo continuo de progenitores probados a la industria lechera de ese país y de algunos otros como México, que importa una gran cantidad de semen congelado.

Cada año un número predeterminado de toros jóvenes son considerados como potencial de prueba. Para que un animal sea elegido, debe reunir una serie estricta de normas para determinar sus méritos genéticos:

- Su padre debe estar dentro del 15% superior en producción y tipo.
- Su madre debe estar dentro del 5% superior en producción, y dentro del 6% superior en tipo.
- La información sobre las familias de las vacas, el intervalo generacional y la longevidad son parte importante del proceso de selección.

El tiempo que transcurre para elegir un semental por medio del comportamiento de sus hijas fluctúa entre 5 y 6 años:

1. Del 1° al 2° año de edad, se colecta el semen, se distribuyen las dosis seminales entre los hatos que participan y comienzan las pruebas de progenie preliminares. En este momento, todos los progenitores jóvenes son retirados hasta que se disponga de la información sobre sus hijas.
2. Cuando el toro tiene de 2 a 3 años, nacen sus hijas, y una vez que éstas paren, el semental tendrá de 3 a 4 años de edad.
3. A la edad de 4 a 5 años, sus hijas comienzan a dar leche, se registra su producción y se clasifican por tipo.
4. Finalmente, a los 5 ó 6 años se tendrá la información sobre los registros completos de producción, así como los registros de clasificación de tipos, éstos

se resumen para una prueba oficial de producción y tipo. Sólo los progenitores que demuestren mejorar la raza se retornan al servicio comercial.

Uno de los aspectos en los cuales el especialista puede incidir en el mejoramiento genético de los hatos es planificando los apareamientos y evaluando el comportamiento de las hijas de los sementales usados en la inseminación artificial.

La planificación implica escoger, dentro de un catálogo, los toros que se utilizarán en el hato. En el cuadro adjunto se presenta un resumen de las pruebas de progenie correspondientes a mayo de 2003, proporcionada por una empresa comercial de distribución de semen. Los criterios para decidir qué toros utilizar estarán en función de la habilidad de transmisión en leche, grasa, proteína y tipo, mismos que junto con otras características se integran en el índice de comportamiento total (TPI, del inglés *Total Performance Index*), basado en el análisis genético de tipo lineal para múltiples características. Este índice incrementa el énfasis en grasa y proteína; incluye características de salud, vida productiva y conteo de células somáticas; considera el tipo e incorpora cualquier diferencia genética importante. El valor numérico del mismo incrementa la exactitud o precisión debido a que en él se incluye la correlación genética entre las características que son seleccionadas (Holstein Association, USA, Inc. 2001).

Las 16 características que se incluyen en el TPI están integradas en cuatro índices:

**1. Índice de conformación de la ubre (UDC, del inglés *Udder Composite Index*).** El cual incluye y pondera como variables que contribuyen a incrementar la longevidad, las siguientes:

- Profundidad de la ubre (UD, del inglés *Udder Depth*) 0.30
- Inserción anterior de la ubre (FU, *Fore Udder Attachment*) 0.16
- Colocación de pezones (TP, *Front Teat Placement*) 0.16
- Altura de la inserción posterior de la ubre (UH, *Rear Udder Height*) 0.16
- Anchura de la inserción posterior de la ubre (UW, *Rear Udder Width*) 0.12
- Ligamento medio de la ubre (UC, *Udder Cleft*) 0.10

El índice de conformación es calculado como el total de la habilidad de transmisión estandarizada (STAs) de esas seis características:

$$UDC = [(UD)(0.30)] + [(FU)(0.16)] + [(UH)(0.16)] + [(UW)(0.12)] + [(UC)(0.10)]$$

**2. Índice de conformación del tamaño corporal (BSC, *Body Size Composite*)**

- Estatura ( $S_1$ , *Stature*) 0.50
- Fortaleza ( $S_2$ , *Strength*) 0.25
- Profundidad corporal (BD, *Body Depth*) 0.15
- Anchura de la grupa (TW, *Thurl Width*) 0.10

El índice de conformación es calculado como el total de la habilidad de transmisión estandarizada (STAs) de esas cuatro características, e implica que por cada desviación estándar en la habilidad de transmisión, el tamaño corporal aumente o disminuya en 24 libras el peso maduro de las hijas:

$$BSC = [(0.5)(S_1)] + [(0.25)(S_2)] + [(0.15)(BD)] + [(0.10)(TW)]$$

**3. Índice de conformación de piernas y patas (FLC , Feet and Legs Composite).** El cual permite esperar un incremento de 0.3 meses en la vida productiva de las hijas por cada desviación estándar en la habilidad de transmisión.

- Ángulo del pie o inclinación de la pezuña (FA, Foot Angle) 0.48
- Miembros traseros, vista posterior (RLRV, Rear Legs – Rear View) 0.37
- Miembros posteriores, vista lateral (RLSV, Rear Legs – Side View) – 0.15
- Puntaje de pies y piernas (FLS, Feet and Legs Score)

$$FLC = 0.5[(0.48)(FA) + (0.37)(RLRV) - 0.15(RLSV)] + 0.5[FLS]$$

**4. Índice de conformación en capacidad lechera.**

- Tipo Lechero (Angulosidad) (DF, Dairy Form)
- Fortaleza. (S<sub>3</sub>, Strength)

La fórmula para calcular el índice de comportamiento total (TPI) es la siguiente:

$$TPI = \left[ 4 \left[ .714 \left( \frac{PTAP}{19.0} \right) + .286 \left( \frac{PTAF}{22.5} \right) \right] + 2 \left[ .5 \left( \frac{PTAT}{.7} \right) + .33 \left( \frac{UDC}{.8} \right) + .17 \left( \frac{FLC}{.85} \right) \right] + \left[ \left( \frac{PL}{1} \right) - .1 \left( \frac{SCS}{.13} \right) \right] \right] 45 + 956$$

La fórmula anterior considera las siguientes relaciones:

- 4:2:1, Para producción, tipo y salud, respectivamente.
- 5:2, Para proteína y grasa en la producción láctea.
- 1:0.65:0.35, Para tipo, conformación de la ubre y conformación de pies y piernas.
- 0.9:0.1, Para vida productiva y conteo de célula somáticas.

En los catálogos de sementales puede observarse que para cada característica se presenta el rango de confianza en unas barras sombreadas que se desplazan a la izquierda o a la derecha del valor cero en una o dos unidades, ésta es una medida de la confiabilidad en la habilidad de transmisión estimada. Cuando la característica llega a un extremo, el valor mínimo o máximo es de 2.35 y se muestra con una flecha con dirección positiva o negativa.

Desde el punto de vista práctico, si usted tiene interés en mejorar una determinada característica, elija el semen de los toros con dos desviaciones positivas.

Una vez que el especialista ha decidido, basado en el catálogo de sementales, qué toros utilizará para la inseminación artificial en el hato, le corresponderá evaluar la producción láctea de las hijas nacidas, para lo cual se requiere el registro mensual de la producción de leche de cada una y entonces efectuar el análisis estadístico correspondiente a un diseño completamente al azar.

**Ejemplo:**

Suponga que utilizó 7 sementales en el hato y cada uno tuvo un número diferente de hijas o hijos, usted parte de la hipótesis nula de que no hay diferencia genética entre los toros utilizados, esto significa que la producción promedio de leche o la ganancia diaria de peso de la progenie de cada toro, es similar. Los datos se presentan a continuación:

PRUEBA DE PROGENIE RESPECTO DE LA GANANCIA DIARIA DE PESO (GR),  
EN GANADO GUZERAT.

| Semental |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        |
| 776      | 959      | 945      | 1020     | 1131     | 1075     | 1156     |
| 698      | 870      | 1066     | 952      | 1233     | 960      | 1075     |
| 820      | 887      | 795      | 904      | 864      | 1012     | 1060     |
| 902      | 846      | 1100     | 882      | 956      | 982      | 985      |
| 896      | 886      | 1090     | 908      | 1064     | 1050     | 1040     |
| 939      | 699      | 816      | 962      | 966      | 899      | 1142     |
| 625      | 888      | 956      | 961      | 1032     | 1036     | 1121     |
| 781      | 780      | 910      | 900      | 1099     | 925      | 1019     |
| 888      | 914      | 934      | 757      | 992      | 939      | 1074     |
| 713      | 945      | 842      | 804      | 1015     | 979      | 1144     |
| 745      | 1019     | 1093     | 964      | 990      | 986      | 1097     |
| 665      | 844      | 1035     | 1067     | 971      | 914      | 1109     |
| 652      | 833      | 1034     | 980      | 1098     | 1129     | 1107     |
| 722      | 913      | 1028     | 979      | 1203     |          | 1120     |
| 738      | 879      | 1010     | 898      | 1222     |          | 982      |
| 631      | 881      |          | 931      | 971      |          | 1178     |
| 755      | 1042     |          | 847      | 937      |          | 1146     |
| 768      | 903      |          | 1033     |          |          | 1139     |
| 811      | 887      |          | 876      |          |          | 1125     |
| 771      | 1065     |          | 915      |          |          | 1063     |
| 774      | 843      |          | 932      |          |          | 1091     |
| 770      |          |          |          |          |          | 1041     |
| 907      |          |          |          |          |          |          |
| 793      |          |          |          |          |          |          |
| 785      |          |          |          |          |          |          |
| 759      |          |          |          |          |          |          |
| 958      |          |          |          |          |          |          |
| 869      |          |          |          |          |          |          |
| 990      |          |          |          |          |          |          |
| 748      |          |          |          |          |          |          |

El procedimiento consiste en calcular las siguientes cantidades básicas:

Para efectuar la prueba de progenie se requiere usar la técnica de análisis de varianza (ANVA), con dos fuentes de variación: entre sementales y entre progenie, de acuerdo con el modelo aleatorio:

$$\hat{y}_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:  $\mu$  representa la media general,  $T_i$  representa el efecto del semental  $i$ , y  $\varepsilon_{ij}$  representa la desviación ambiental y genética no controlada, atribuida a los individuos dentro de los grupos paternos, lo cual también se conoce como el *error aleatorio*.

Las fórmulas de cálculo para efectuar el análisis de la varianza se presentan en el siguiente cuadro:

Fuente de varianza	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Prueba de la razón de la varianza (F)
Entre padres	S - 1	$\sum \left[ \frac{Ti^2}{n.} \right] - FC$	$\frac{\sum \left[ \frac{Ti^2}{n.} \right] - FC}{S - 1}$	$F = \frac{CM1}{CM2}$
Entre progenie	N - S	$\sum \sum (x^2_{ij}) - \sum \left[ \frac{Ti^2}{n.} \right]$	$\frac{\sum \sum x^2_{ij} - \left[ \frac{Ti^2}{n.} \right]}{N - S}$	

En donde:

S = Número de sementales.

N = Número total de la progenie considerada.

n. = Número de hijas de cada semental.

$Ti^2/n.$  = Total de cada animal elevado al cuadrado y dividido entre su número de hijas.

FC = Factor de corrección, el cual se obtiene elevando al cuadrado la suma total de todas las observaciones  $(\sum \sum X_{ij})^2$  y dividiendo entre el número total de hijos (N).

$\sum \sum (X_{ij}^2)$  = Suma de cuadrados total (cada dato se eleva al cuadrado y luego se suman todos).

Al valor del cuadrado medio de la primera fuente de variación atribuible a los sementales se le denominará, para facilitar los cálculos,  $CM_1$  y al valor del cuadrado medio de la segunda fuente de variación, entre progenie,  $CM_2$ . En todos los análisis de la varianza el valor de la última fuente de variación representa la varianza del error ( $\sigma^2_w$ ).

Si efectúa las operaciones con una calculadora científica, póngala en modo *estadístico* y entonces introduzca todos los datos a la memoria, llame la función *suma*, elévela al cuadrado y el resultado divídalo entre el número total de observaciones, así tendrá el Factor de Corrección (FC); inmediatamente después pulse la tecla de suma de cuadrados para obtener la cantidad:  $\sum \sum (X_{ij}^2)$ .

Borre la memoria de la calculadora e introduzca los datos correspondientes a las hijas del semental 1, llame la suma, elévela al cuadrado y el resultado divídalo entre su número de hijas. Anótelos. Borre la memoria de la calculadora y continúe con el siguiente semental, y así sucesivamente hasta terminar con todos. Finalmente, sume todos los datos y habrá obtenido la cantidad:  $\sum [Ti^2/n.]$ .

Ahora tiene todas las cantidades básicas para efectuar el análisis de la varianza.

Si analiza sus datos con el programa Excel, diríjase al menú Herramientas, después a análisis de datos y enseguida a la opción Análisis de varianza de un factor; el programa le solicitará que anote si los datos están agrupados por filas o por columnas y en dónde desea que aparezca el resultado: señale la celda de salida o elija en una hoja nueva. Presione aceptar y tendrá el resultado.

La prueba de la razón de la varianza, conocida como prueba  $F$ , en honor a Ronald Fisher, se obtiene dividiendo el cuadrado medio de la fuente de variación debida a los sementales ( $CM_1$ ) entre la varianza del error ( $\sigma^2 w$ ):

$$F = \frac{CM_1}{CM_2}$$

Si la  $F$  calculada es mayor que la  $F$  tabulada, de acuerdo con los grados de libertad de cada fuente de variación, el resultado es estadísticamente significativo. Lo cual se interpreta como un rechazo a la hipótesis de nulidad que expresa que todos los sementales son iguales.

Hasta aquí todo este procedimiento puede ser calculado en el programa Excel, sin embargo, para efectuar la comparación múltiple de medias utilizando la prueba de Tukey, será necesario apoyarse con el programa de Diseños Experimentales de la Universidad de Nuevo León (anexo electrónico). Diríjase al menú principal y seleccione la opción Diseño Completamente al Azar, introduzca los datos conforme lo pide el programa y al concluir el análisis solicite la prueba de comparación múltiple de medias, procedimiento de Tukey. La salida le proporcionará el valor promedio de cada semental con una letra; promedios con literales diferentes implican diferencia estadística significativa.

## GLOSARIO

- Aditivo. Combinado.*
- Alelos.* Miembros de un par (o series) de diferentes genes que ocupan un locus específico en un cromosoma determinado.
- Ambiente.* Todos los factores externos que actúan sobre el genotipo de un animal para determinar sus rasgos fenotípicos.
- Análisis de varianza.* Técnica estadística; distribuye varianzas a sus fuentes. Se utiliza en genética y mejoramiento animal para determinar la influencia relativa del ambiente y la herencia sobre la variación de los rasgos.
- Apareamiento al azar o aleatorio.* Situación en la cual la probabilidad de apareamiento entre un macho y una hembra cualquiera, es igual a la frecuencia de los individuos del sexo opuesto en la población, sea cual fuere su apariencia, características mensurables o de parentesco.
- Capacidad de transmisión.* Superioridad o inferioridad promedio que se transmite de un progenitor a su descendencia.
- Coefficiente de variación.* Es la relación existente entre la desviación estándar y la media, expresada en forma de porcentaje.
- Consanguinidad o endocría.* Sistema de apareamiento en el que las parejas tienen un parentesco más cercano que los individuos promedio de la población; se expresa como porcentaje de la media.
- Contemporáneos.* Animales nacidos al mismo tiempo, tratados y criados de manera semejante.
- Correlación genética.* Relación entre los rasgos de individuos debida a influencias genéticas aditivas.
- Correlación.* Relación entre características de los individuos; el coeficiente de la correlación es una medida estadística del grado de esta relación y varía de -1.0 a +1.0 (véase también *regresión*).
- Covarianza.* Variación común a dos rasgos; puede ser resultado de la unión de influencias ambientales y hereditarias.
- Cruza.* Animal producto del cruzamiento de dos o más razas puras.
- Cruzamiento abierto.* Apareamiento de animales no emparentados de una misma raza. Con frecuencia "no emparentados" significa que no tienen antepasados comunes en las primeras cuatro a seis generaciones de sus pedigríes.
- Cruzamiento de razas.* Sistemas de apareamiento en el cuál se combina el material hereditario de dos o más razas puras.
- Cruzamiento en línea.* Forma de consanguinidad en la cual se hace un esfuerzo por mantener un alto grado de parentesco de las generaciones subsecuentes con un antepasado sobresaliente.

*Curva normal.* Representación gráfica de las frecuencias genéticas de los valores a distancias variables por encima o por debajo de la media, para rasgos que varían continuamente y se miden en grandes poblaciones.

*Deriva genética.* Cambios en la frecuencia génica en una población debidos a variaciones aleatorias en la proporción de gametos formados que llevan genes específicos o tienen éxito en la fecundación.

*Desviación estándar.* Raíz cuadrada de la varianza de un rasgo medido en todos los individuos de una población (véase también *varianza*).

*Diferencial de selección.* Diferencia entre la media de los progenitores seleccionados y la media de la población de la cual proceden.

*Distribución binomial.* Método matemático; determina la probabilidad de que dos sucesos independientes ocurran en una combinación específica.

*Distribución independiente.* Se refiere al comportamiento durante la meiosis de los genes localizados en diferentes pares cromosómicos.

*Dominante.* Gen cuyo efecto se observa aun cuando se presentan sólo en un miembro del par cromosómico.

*Encaste.* Sistema de apareamiento entre sementales de raza pura con vacas sin registro, criollas o nativas y con sus hijas, generación tras generación.

*Epistasia.* Efectos genéticos que se deben a las interacciones entre 2 ó más pares (o series) de genes no alélicos.

*Exocría.* sistema de apareamiento en el que las parejas tienen menor parentesco que los individuos promedio de la población que se está reproduciendo.

$F_1$ . Descendientes híbridos de la primera generación filial a partir de un apareamiento dado.

$F_2$ . Descendencia de los apareamientos  $F_1 \times F_1$ .

$F_3$ . Descendencia de los apareamientos  $F_2 \times F_2$ .

*Fenotipo.* Apariencia externa u otras características observables o medibles de un individuo.

*Frecuencia genética.* Proporción del loci de una serie alélica dada, ocupados por un gen particular en una población.

*Gen letal.* Gen que produce la muerte de un individuo en alguna etapa de su vida. Los genes letales pueden ser dominantes y ejercer su efecto en los heterocigóticos, aunque la mayor parte son recesivos y sólo se manifiestan en homocigosis. Este tipo de genes es raro y difícil de estudiar, ya que se elimina pronto de las poblaciones, a menos que su efecto se presente al final de la vida, después de que los individuos han dejado descendientes.

*Gen semiletal.* Gen con efectos perjudiciales en la viabilidad de los individuos que lo heredaron, pero que no ocasiona la muerte en ambientes favorables.

*Gen.* Término clásico para la unidad básica hereditaria; es un equivalente funcional del cistrón.

**Genes deletéreos.** Genes con efecto indeseable sobre la viabilidad o utilidad de un individuo, tanto en condiciones de homocigosis como de heterocigosis.

**Genética de poblaciones.** Campo de estudio en el que la genética se relaciona con grupos o poblaciones en vez de con un solo individuo.

**Genética.** Ciencia que trata de determinar la forma en que se heredan o transmiten las propiedades biológicas de una generación a otra, en plantas, animales y organismos inferiores.

**Genotipo.** Constitución genética de un animal.

**Hatos de pie de cría.** Su principal propósito es reproducir animales de cría que se utiliza en hatos comerciales.

**Hatos comerciales.** Los mantienen con el propósito de producir leche, carne, lana u otros productos de origen animal para venderse por los canales comerciales.

**Heredabilidad.** Parte de la varianza total para cualquier rasgo en una población debida a efectos genéticos aditivos.

**Hereditario (a).** Condición controlada o influida en cierto grado por acción genética. Esto contrasta con los caracteres que están bajo el control absoluto de las variables ambientales.

**Herencia cuantitativa.** Herencia que se relaciona con los rasgos para los cuales las poblaciones muestran una variabilidad continua y cuya expresión fenotípica está controlada por el ambiente y la acción de varios pares (o series) de genes. Es difícil detectar el efecto individual de los genes.

**Heterocigoto.** (adj. heterocigótico) Individuo en el que un locus dado de un par cromosómico tiene miembros diferentes de un par o serie alélica.

**Heterosis.** Diferencias en el comportamiento de la progenie, sea positivas o negativas, con respecto al promedio de los tipos progenitores (véase también *vigor híbrido*).

**Híbrido.** Tecnicismo que se refiere a los descendientes de los padres genéticamente puros (homocigóticos) para uno o más pares de factores hereditarios, pero cada progenitor es homocigótico para diferentes pares o series alélicas. En la práctica, el término se extiende para incluir a: descendientes de cruza entre especies, progenie de cruza de líneas consanguíneas y en algunos casos cruza entre especies.

**Índice de selección.** Sistema para ponderar los valores de varios rasgos, para llegar a un simple registro o expresión numérica. Se emplea para determinar cuáles son los animales de un cierto grupo que conviene seleccionar para la crianza y cuáles se deben excluir.

**Inseminación artificial.** Introducción de semen al tracto reproductivo de las hembras por medios mecánicos en lugar del apareamiento natural.

**Intervalo de generación.** Edad promedio de los padres al nacer sus hijos.

**Parámetro.** Término estadístico con que se designa una magnitud o estimación.

**Pariente colateral.** Individuos no emparentados directamente, es decir, los tíos, tías, primos.

**Pedigrí.** Registros de los antecesores de un animal; la definición se extiende para abarcar a los animales que tienen parentesco colateral con un individuo. En la crianza de animales, el término "información de pedigrí" incluye la identificación de los ancestros y parientes colaterales, así como la formación sobre pruebas de comportamiento y

progenie.

*Plasma seminal.* Secreciones de varias glándulas que están a lo largo de los vasos eferentes y la uretra; su función es transportar las células espermáticas en el semen del macho.

*Progenie.* Hijo o descendientes de individuos dados.

*Pruebas de progenie.* Estimación del valor genético o constitución de un individuo a través de mediciones u observaciones del comportamiento, apariencia y otras características de un grupo de progenie.

*Pura raza.* Animal cuyos dos progenitores están debidamente registrados en un libro de registro de raza.

*Raza.* Grupo de animales con un origen común que tienen características identificables que los distinguen como miembros de un grupo racial.

*Repetibilidad.* Tendencia de un individuo a repetir su comportamiento, por ejemplo, una vaca lechera en lactaciones consecutivas; una borrega en el peso al destete de sus corderos; mediciones lineales o ganancias similares en animales durante periodos sucesivos, etc. En términos estadísticos, la proporción de la varianza total en una población debida a la similitud de comportamiento de los individuos, cuando todos se miden o evalúan más de una vez.

*Regresión.* Magnitud del cambio en un rasgo relacionado con un cambio individual en otro rasgo de la población. (véase también *correlación*).

*Selección.* Cualquier influencia externa sobre una población, sea natural o artificial, que aumente la posibilidad de que los individuos con ciertos genotipos contribuyan con material genético para las generaciones subsecuentes y, por lo tanto, a cambiar la frecuencia genética.

*Sobredominancia.* Situación genética en que los individuos heterocigóticos para un par (o serie) de genes son superiores, de alguna manera, a cualquier homocigoto del par o serie.

*Tipo.* Término que se utiliza en la cría de animales en relación con la apariencia de los mismos, pero tiene diversas connotaciones. Algunas veces se utiliza como sinónimo de conformación, también para indicar las diferentes clases, es decir, ganado de carne o leche, el grande y el pequeño, el de lana fina y el de lana gruesa, etc. (véase también *conformación*).

*Valor de cruzamiento o de cría.* Importancia genética del genotipo de un animal para un rasgo específico.

*Variación.* Diferencias entre los individuos en cuanto a rasgos observables o mensurables: puede ser de naturaleza continua (cuantitativa) o discontinua (cualitativa).

*Varianza.* Promedio de los cuadrados de las desviaciones, a partir de la media, de un rasgo medio en todos los individuos de la población.

*Varianza ambiental.* En términos absolutos, la varianza para cualquier carácter en una población que se debe a influencias ambientales.

*Varianza dominante.* Parte de la varianza genética o hereditaria que es el resultado de los efectos aditivos y se debe a las desviaciones de la dominancia a partir de una descripción basada en los efectos aditivos supuestos.

*Varianza epistática.* Parte residual de la varianza hereditaria que se debe a interacciones de genes no alélicos; no se explica por medio de efectos aditivos o dominantes.

*Varianza genética aditiva.* Varianza hereditaria o genética que depende de los efectos aditivos de los genes, es decir, un gen tiene un efecto dado positivo o negativo a pesar del cual, puede presentarse otro miembro del par o series alélicas.

*Varianza genética.* Véase *varianza hereditaria*.

*Varianza hereditaria.* En términos absolutos, la varianza para cualquier rasgo debido a influencias genéticas aditivas, efectos epistáticos y de dominancia en una población (véase también heredabilidad).

*Vigor híbrido.* Incremento en el vigor o productividad que se observa en individuos híbridos, comparados con los del promedio de los tipos progenitores (véase también *heterosis*).