

Mejoramiento Genético

Cruzamientos: Para Mejorar Productividad

M.V. FRANCISCO MAYA M.
Coordinador Programa de Mejoramiento Genético
COLANTA
E-mail: framaya@mixmail.com





Mejoramiento Genético

Resumen

Desde la domesticación de los animales, el hombre comenzó a seleccionarlos con propósitos especiales y gradualmente se fueron modificando las características genéticas de ellos, a la vez se realizaron ajustes ambientales y de manejo para permitir su reproducción y supervivencia.

Se dio inicio entonces a la cría de los animales aplicando el conocimiento científico al mejoramiento genético, con base en disciplinas como la estadística, bioquímica, fisiología, economía, etc., todo con un objetivo básico: Aumentar la eficiencia productiva, así como la calidad del producto para el consumidor final.

En el proceso de mejoramiento genético se deben considerar muy seriamente los "efectos genéticos" que se derivan del cruzamiento o apareamiento entre animales; son los efectos Aditivos y No aditivos (Dominancia, Heterosis) que están afectando los resultados esperados. También se debe tener en cuenta la fuerte interacción que se da entre genotipo y ambiente, limitante grande en la expresión fenotípica de las características de importancia económica en la producción bovina.

Se plantea la necesidad de aplicar tanto la selección genética como los diferentes sistemas de cruzamiento entre razas, para aumentar los niveles de productividad en las explotaciones ganaderas del país.

Summary

Since the domestication of animals, man has selected them for special purposes and has gradually modified their genetic characteristics; envirometal and management adjustments have been made as well, permitting reproduction and survival of wanted animals.

So, animal upbringing applying scientific knowledge on genetic improvement was born, based on disciplines like statistics biochemistry, physiology, economics and others, with the basic objective of increasing productive efficiency as well as product quality for the consumer.

In the genetic improvement process, "genetic effect" from animal breeding must be seriously considered; they are Additive and Non-additive effects called dominance and heterosis, and that affect expected results. Strong interaction between genotype and environment must be considered too, since it will constitute a major limitation in phenotypic expression of important economical characteristics in bovine production. This situation has led to the need of applying genetic selection as well as different breeding systems to increase productivity levels in the country's bovine exploitations.





Cruzamientos: para mejorar productividad

Desde su aparición en la tierra, el hombre tiene como objetivo primordial asegurar sus fuentes de alimentación para satisfacer necesidades alimenticias y nutricionales.

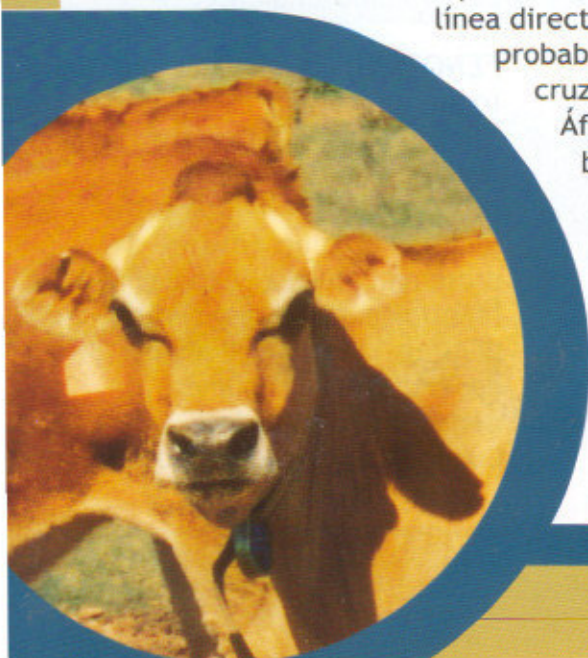
Es posible atribuir gran parte del mejoramiento en la calidad de vida humana a los animales que les proporcionaron alimento, vestimenta y fuerza de trabajo. Gracias a la domesticación de plantas y animales, las tribus nómadas primitivas evolucionaron a culturas más sedentarias conforme progresaron las labores de domesticación y labranza.

Al parecer, la domesticación comienza al final de la Nueva Edad de Piedra. El origen de cada uno de los animales domésticos fue restringido y modesto; sin embargo, gracias a la selección constante para determinadas características, se han desarrollado diversas formas, unas útiles, otras ornamentales, algunas con ambas o ninguna de estas cualidades.

Parece ser que el ganado se domesticó tanto en Europa como en Asia durante la Edad de Piedra. Existen dos tipos de ganado doméstico: *Bos indicus*, bovinos jorobados de países tropicales y *Bos taurus*, perteneciente a zonas templadas. Se cree que uno de los progenitores de las crías modernas fue el gran Buey o Uro, *Bos primigenius*, y otro el *Bos longifrons*.

Es dudoso que las actuales razas europeas o americanas provengan en línea directa sólo de uno de los dos tipos anteriores. Es más probable que sea el resultado de varios grados de cruzamiento entre ellos. El ganado de la India y África, *Bos indicus*, se cree que desciende del banteng silvestre Malayo.

Conforme progresó la domesticación, los animales comenzaron a ser seleccionados con propósitos especiales, además de sus aptitudes reproductivas. La necesidad humana de comida, vestido y trabajo, influyó en la selección de los animales para cría. Así esta preferencia gradualmente se impuso sobre la





Mejoramiento Genético

natural reproductiva. Al implantar estos requerimientos se modificó la herencia de los animales. Se realizaron ajustes ambientales y de manejo con el fin de permitir a los individuos, con la característica productiva deseada, sobrevivir y reproducirse.

Cría

Es la aplicación del conocimiento científico al mejoramiento genético de los animales. Se apoya en disciplinas como la estadística, bioquímica, fisiología, economía, etc. En los programas de cría se sintetizan los principios genéticos:

1) Seleccionar a los animales más deseables con base en la predicción de su mérito genético y 2) Producir genotipos superiores por medio de combinación genética a través de planes y sistemas de apareamiento. El objetivo básico es aumentar la eficiencia productiva, así como la calidad del producto para el consumidor final.

Este objetivo se logra mediante el mejoramiento genético y los cambios medio ambientales: Nutrición, manejo, sanidad, etc., dándose un efecto rápido e inmediato sobre la producción, ya que los resultados genéticos se observan a mediano y largo plazo.

Bases Genéticas para la Cría de Animales (conceptos básicos)

La GENÉTICA: Estudia la variación y la transmisión de rasgos o características de una generación a la otra; la variación genética es el rango de posibles valores para un rasgo cuando es influenciado por la herencia.

La HERENCIA: Es la transmisión de rasgos de los padres a la descendencia por vía del material genético y toma lugar en la fertilización, cuando el espermatozoide del toro se une con el óvulo de la vaca.

EL MEDIO AMBIENTE: En genética, es la combinación de todos los factores, con excepción de los genéticos, que pueden afectar la expresión de los genes.

GENOTIPO: Representa el gen o grupo de genes responsable por un rasgo en particular; describe todo el grupo de genes que un individuo ha heredado. Es una característica esencialmente fija del organismo; permanece constante a lo largo de la vida del animal y no es modificada por el medio ambiente.

FENOTIPO: Es el valor que toma un rasgo; es lo que puede ser observado o medido; ejemplo, la producción individual de leche, el porcentaje de proteína, etc. La "expresión fenotípica" de un rasgo varía durante la vida del animal, dependiendo del número de genes involucrados, así: Cuando solamente uno o un

Mejoramiento Genético



par de genes son responsables, el fenotipo permanece sin cambios (ej: color de pelo); cuando son muchos los genes, el fenotipo cambia constantemente como respuesta a factores ambientales (ej: producción de leche).

Rasgos Cualitativos

Tienden a caer dentro de categorías discretas; generalmente sólo uno o unos pocos genes poseen un gran efecto sobre los rasgos cualitativos. El medio ambiente tiene generalmente un pequeño papel al influenciar la categoría dentro de la cual cae el animal. En este caso, el

fenotipo de un animal refleja su genotipo. Son algunos rasgos cualitativos: Color de pelo, defectos hereditarios como el enanismo, presencia o ausencia de cuernos, tipo sanguíneo.

Rasgos Cuantitativos

Difieren de los cualitativos en que:

1. Se encuentran influenciados por muchos pares de genes.
2. La expresión fenotípica es influenciada más fuertemente por el medio ambiente.

Muchos de los rasgos de importancia económica en el ganado lechero son cuantitativos: Producción de leche, composición de la leche, conformación o tipo, eficiencia de conversión de alimento, resistencia a enfermedades, entre otros. La influencia combinada de muchos genes y el efecto del medio ambiente hacen que sea mucho más difícil determinar el genotipo exacto.



**F1 Jersey x
Rubio Aleman**



Mejoramiento Genético

Efectos Genéticos

Dos tipos de efectos se presentan cuando se realiza un cruzamiento: **Aditivo y No aditivo** (*dominancia*, interacciones interalélicas entre genes dominantes o *epistasia*). El potencial genético aditivo es la parte de la diferencia fenotípica entre animales que se transmite de una generación a otra, es decir, que responde a selección; la magnitud de esta parte se mide por el índice de **heredabilidad**, que puede tener valores de cero a uno. Cuando es cero para un determinado rasgo en una determinada población, este carácter no está determinado por los efectos aditivos de los genes y no responde a selección. Cuando es uno, todos los rasgos que se miden se transmiten, porque son determinados por los efectos genéticos aditivos. Si el índice de heredabilidad es bajo, el rasgo es determinado en alto grado por factores no genéticos (ambientales) y si es alto, lo principal son los efectos genéticos aditivos y la influencia del ambiente es baja.

Los efectos no aditivos contienen las acciones dominantes y epistáticas (interalélicas) responsables de la **heterosis** o "**vigor híbrido**" exhibido por animales cruzados.

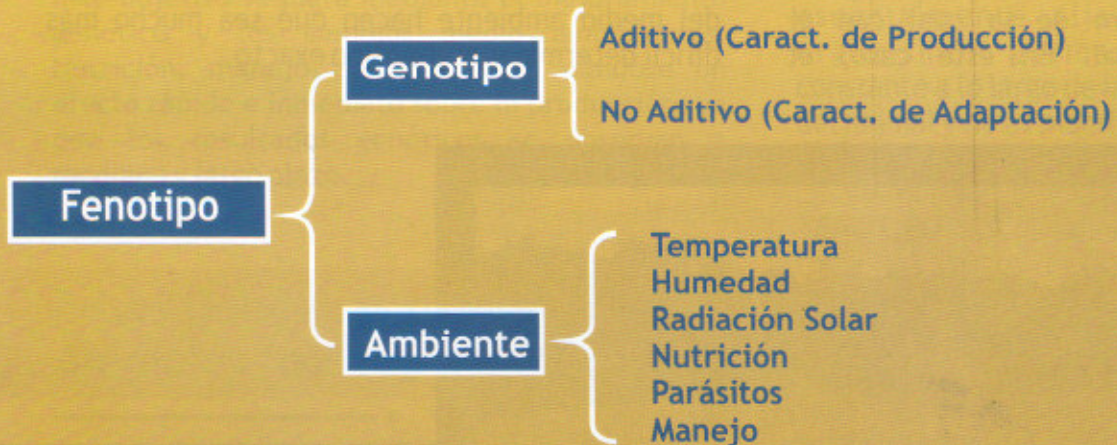


Fig. No. 1. Factores que afectan la expresión fenotípica de la producción



Mejoramiento Genético

Heterosis y Exocría

La Exocría es un sistema de cruzamiento en el que las parejas están menos emparentadas que el promedio de la raza o población; incluye el apareamiento de individuos sin parentesco dentro de las razas, encaste, cruzamiento de líneas consanguíneas, cruzamiento entre razas, y los cruces más extremos entre animales de distintas especies como entre asnos y yeguas para producir mulas.

Como efecto importante se da el aumento en la heterocigosis, manifestándose el vigor híbrido cuando el promedio de los hijos excede al de los padres; la utilidad práctica de la exocría resulta del hecho de que los genes con efecto favorable, con frecuencia, expresan algo de dominancia sobre sus alelos.

La Heterosis designa la diferencia entre los promedios de la progenie y de los progenitores, con potencial para ser positiva o negativa, o que no haya heterosis. El porcentaje de heterosis para cruzamiento de razas se determina así:

$$\% \text{ Heterosis : } \frac{(\text{prom. de la progenie cruzada} - \text{prom. de los padres})}{\text{promedio de los padres}} \times 100$$

HEREDABILIDAD	BAJA	MEDIANA	ALTA
VIGOR HÍBRIDO	ALTO	MEDIANO	BAJO
	Fertilidad	Peso destete	Peso adulto
	Supervivencia	Habilidad materna	Características de canal
	Resistencia a enfermedades	Ganancia en pastoreo	Ganancia en corral

Cuadro No.1. Características de la Heredabilidad y el Vigor Híbrido en cruzamientos bovinos para producción de carne



Mejoramiento Genético

Los sistemas de exocría cumplen dos objetivos principales:

- Reúnen las combinaciones de genes deseables a partir de dos progenitores de forma más rápida que con la selección, tomando ventaja de la complementariedad entre razas, estirpes o líneas.
- El aumento en heterocigosis proporciona la base genética necesaria para la expresión de la heterosis.

Al explicar la heterosis se asume que es en gran parte el resultado de que los alelos con dominancia oculten los efectos de los genes recesivos; igualmente, es posible que para algunos pares de genes el heterocigoto es más vigoroso que cualquier homocigoto; esto es, para un par de genes dado, como A y a, Aa puede ser superior que AA o aa; esta situación se llama sobredominancia.

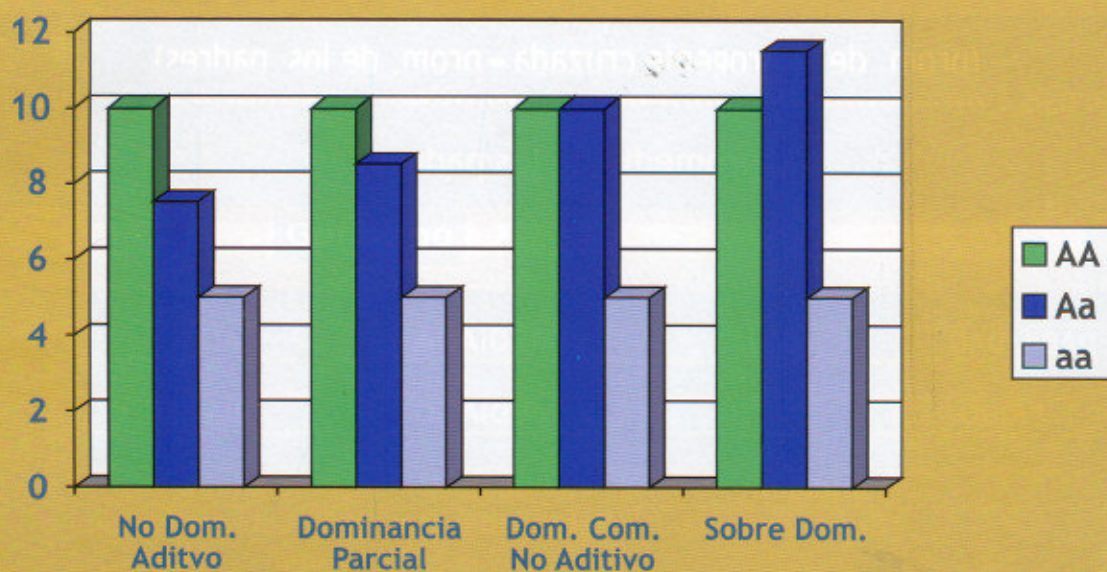


Fig. No. 2 . Efectos genéticos en cruzamientos.

Mejoramiento Genético



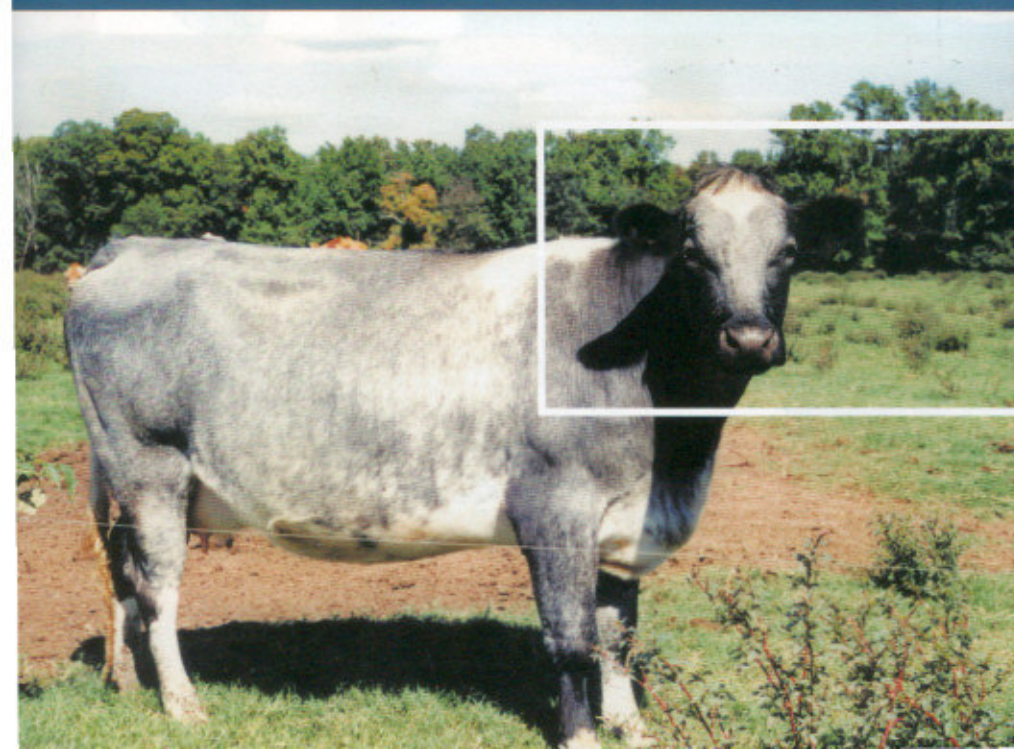
Cruzamiento de Razas

Es el apareamiento de animales de diferentes razas establecidas. Técnicamente sólo se aplica a los primeros cruces de razas puras, pero por lo general también se utiliza, de manera más amplia, en los sistemas que comprenden cruzamiento alternado de dos razas, cruces rotacionales de tres o más razas y cruces de toros de una raza pura con hembras de otra con alta calificación.

Al considerar el cruzamiento entre razas, debe enfatizarse que la productividad máxima en una empresa ganadera comercial depende de que se

maximicen tanto las heterosis como la frecuencia de genes deseables con efectos aditivos. Con excepción del comportamiento reproductivo y el vigor, la mayor parte de los rasgos con importancia económica están más afectados por la acción génica aditiva que por la heterosis. Sin embargo, reportan algunos autores (Plasse, 1994) que trabajos realizados con ganado tropical en Brasil, Costa Rica, Florida y Texas han obtenido 18 estimados de índices de heredabilidad para medidas de la eficiencia reproductiva de hembras bovinas que oscilan entre 0.08 y 0.63, con un promedio no ponderado de 0.27.

El desempeño total adicional que puede obtenerse en cruces como resultado de la heterosis, en comparación con el de los mejores animales de raza pura, con frecuencia es lo bastante grande para tener importancia económica. A pesar de esto, es necesario basar los programas de cruzamiento de razas sólo en animales de raza pura con un alto mérito individual para los rasgos deseados y con alta heredabilidad.



**Vaca F1
(Jersey x Blanco
Azul Belga).**

Fotografía Tomada por:
M.V. Francisco Maya



Mejoramiento Genético

	% Genética Jersey				
	100% Holstein	100% Jersey	50% F1	75% F2	87.5% F3
Producción Leche. Lbs.	21.861	15.203	19.685	18.106	17.089
% Proteína	3.14	3.74	3.38	3.54	3.63
% Grasa	3.63	4.60	4.03	4.27	4.41
Precio de la Leche U\$	11.72	14.48	12.86	13.55	13.96
Peso Lbs.	1.300	900	1.200	1.100	1.000
Vida Productiva (meses)	24.7	27.8	28.9	29.8	29.5
Días abiertos (Fertilidad)	147	126	123	118	119
Intervalo entre partos (mes)	14	13.4	12.3	12.2	12.5
Pérdidas por probl. al parto	U\$ 39	U\$ 0	U\$ 0	U\$ 0	U\$ 0
Edad al 1er. parto (meses)	26	24	---	---	---

U\$: Dólares americanos.

Tomado de USDAIPL 1998. Lactation Averages, Productive life.

Cuadro No.2. Resultados del cruzamiento entre las razas Holstein y Jersey, en los EE.UU.

El mejoramiento continuo a partir de programas de cruzamiento entre razas depende de qué tanto se mejore el mérito genético promedio de las razas fundadoras utilizadas para el cruce.

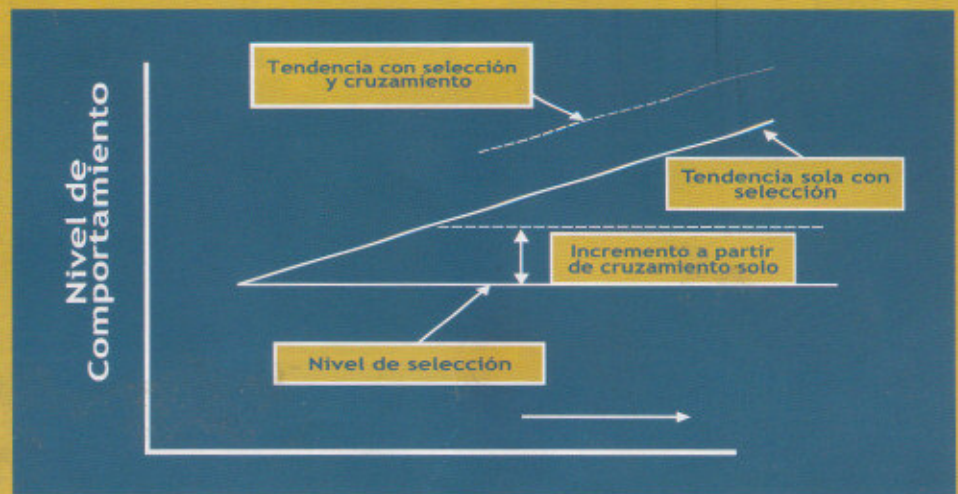


Fig. No.3 Mantenimiento del mejoramiento genético continuo después de llegar al nivel inicial de heterosis a partir de cruzamiento.

Mejoramiento Genético



Heterosis Individual

Es la diferencia en el comportamiento de la progenie de raza pura y cruzada, cuando ambas se obtienen de hembras de raza pura.

Heterosis Materna

Es la diferencia en el comportamiento de madres cruzadas y de raza pura, cuando ambas tienen progenie cruzada; sólo las hembras cruzadas pueden expresarla.

Sistemas de Cruzamiento

Existe un número ilimitado de sistemas de cruzamiento entre razas que puede utilizarse para producción comercial. Entre los más utilizados están:

1. **Cruzamiento de dos razas:** Se produce la primera generación de descendientes F1 y todos se destinan para sacrificio u otro uso comercial. Sistema útil cuando las hembras de una raza están bien adaptadas a un ambiente, pero los hijos requieren material hereditario de otra fuente para ser más productivos; se aprovecha la heterosis individual para vigor, supervivencia, crecimiento, eficiencia y otros caracteres.

2. **Retrocruzamiento:** Al primer cruce los machos son sacrificados y las hembras cruzadas se aparean con machos de una de las razas progenitoras y toda la progenie se sacrifica



Cruzamiento de Razas Jersey x Rubio Aleman, hija F1

Fotografía Tomada por:
M.V. Francisco Maya



Mejoramiento Genético

(terminal). Se aprovecha la heterosis materna y parte de la individual; es muy útil donde se requiere de la adaptación de una raza materna específica y de las hembras cruzadas a un ambiente específico, pero se desea más de la mitad de los efectos aditivos de la otra raza progenitora para engorde o para características de la canal.



Retrocruzamiento
Hembra resultante de cruce
F1 (Jersey x Rubio Alemán) x
Rubio Alemán

Fotografía Tomada por:
 M.V. Francisco Maya



Fig.No.4. Diagrama de un sistema de cruzamiento rotacional entre dos razas (cruzamiento entre líneas). Se observa el porcentaje esperado de herencia para la descendencia de generaciones sucesivas.

Mejoramiento Genético



3. **Cruzamiento de tres razas:** Los machos de la raza A se cruzan con hembras de la raza B, los hijos machos se sacrifican; las hembras A x B se cruzan con machos de la raza C (raza "terminal"). Se aprovecha tanto la heterosis materna como la individual y también se tiene la ventaja de que pueden utilizarse las razas para complementarse entre ellas.

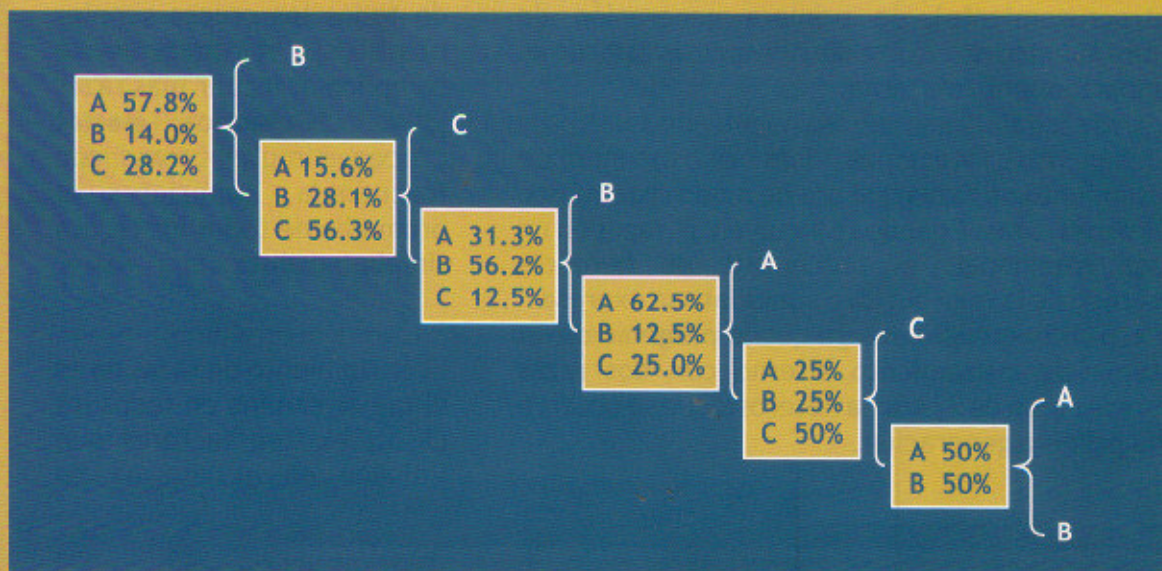


Fig. No.5 Diagrama de un sistema de cruzamiento rotacional entre tres razas; se observa el porcentaje de herencia esperado para la descendencia de generaciones sucesivas.



**Trihíbrido
Cruzamiento de
Razas Galloway -
Suffolks - Holstein**

Fotografía Tomada por:
M.V. Francisco Maya



Mejoramiento Genético

4. Cruzamiento secuencial o alternativo: Los machos de dos o más razas se utilizan en secuencia en las poblaciones de hembras cruzadas. Se requiere un retrocruzamiento en la segunda generación; sin embargo, al aparear a las hembras cruzadas con machos de una raza progenitora (retrocruzamiento), la primera generación de hembras podrá expresar heterosis para el comportamiento materno.

Cruzamiento rotacional es el sistema de cruzamiento de razas que usa de modo sistemático tres o más razas. Cuando se incluyen n razas en un cruce rotacional, el porcentaje de herencia esperado de la raza del toro inmediato se expresa: $50 \times 2n / 2n - 1$. Se espera que la progenie de un sistema de cruzamiento alternativo con dos razas exprese cerca de $2/3$ de la heterosis que se observó en la primera generación.

En teoría, conforme aumenta el número de razas incluidas en la rotación, se espera que el comportamiento de los cruces obtenidos se acerque al comportamiento promedio de todos los cruces simples posibles; el sistema se complica al incluir más razas y, en la práctica, ciertos cruces simples son, con frecuencia, superiores al promedio de todos los cruces simples posibles.

El cruzamiento de razas no es el mejor camino en todos los casos; existen factores que influyen en el sistema de

GENERACIÓN	RAZAS		% HETEROSIS USADA	
	Toro	Vaca	Individual	Materna
1	A	B	100	0
2	C	AB	100	100
3	B	C(AB)	75	100
4	A	B(C(AB))	87	75
n	*		86	86

* Se repite rotación.

Cuadro.No.3. Porcentaje de heterosis expresada que se espera en la progenie a partir de cruces alternativos.

Mejoramiento Genético



cruce a implementar; entre los más importantes se tiene:

- Nivel de heterosis para caracteres importantes.
- Necesidad de combinaciones de razas complementarias.
- Disponibilidad de machos reproductores superiores de distintas razas.
- Porcentaje de las poblaciones totales que deben ser de raza pura para proveer hembras de tipos específicos al sistema, o disponibilidad para adquirir hembras cruzadas.
- Tamaño del hato.
- Complejidad y costo del sistema en relación con las ganancias esperadas.



**Vaca F1 (Holstein x Cebú)
apareada con toro F1
(Holstein x Cebú)**

Fotografía Tomada por:
M.V. Francisco Maya



Mejoramiento Genético

Conclusión

Los resultados de los estudios sobre cruzamientos concuerdan con las expectativas teóricas; las razas cruzadas, con frecuencia, exceden los niveles de comportamiento promedio de las razas puras progenitoras.

Los aumentos a partir del cruzamiento suelen representar grandes elevaciones potenciales del ingreso neto en empresas ganaderas comerciales; es decir, pueden obtenerse con poco o nada de costos adicionales de producción. Por tanto, los pequeños incrementos adquieren significado cuando se toma en cuenta que un aumento de tan sólo 3 a 5% en la producción total, puede significar un aumento de 50 e incluso 100% en el ingreso neto.

Las ventajas del cruce de razas tienen suficiente importancia para que los productores comerciales las consideren seriamente en el desarrollo de programas sistemáticos de cruzamiento, si se requiere de un desempeño cercano al máximo, en particular, en especies con altas tasas reproductivas.





Bibliografía

LEGATES, J. E. , WARWICK, E. J. Cría y mejora del ganado. 8. Ed. México: Interamericana, 1992. 344 p.

MANEJO DE la reproducción bovina en condiciones tropicales. En: MEMORIAS SEMINARIO INTERNACIONAL. Cartagena de Indias, Colombia. Octubre 12 - 14 de 1994. P. 87 - 130. CIPEC - CEGA.

IMPORTANCIA DEL Cebú en los mestizajes. En: El Cebú. No. 278/279 (Jun.-Jul. 1994) ; p. 14-23.

MARTINEZ CORRAL, Germán. El cruzamiento: una herramienta en el mejoramiento animal. Uso de toros F1. En: Revista ICA informa. Vol 25. (Abr.-Jun. 1991).

QUIÑONES M. , Benjamín. Doble propósito: Otra oportunidad para nuestro ganado Brahman. En: El Cebú. No. 310 (Sep.-Oct. 1999) ; p. 68-73.

MADALENA, F. G. Estrategias de cruzamientos entre razas lecheras. En: El Cebú. No. 276 (Feb.-Mar. 1994) ; p. 74, 76-78, 80, 82, 84.

PLASSE, DIETER. Cruzamiento en bovinos de carne en América latina tropical: qué sabemos y qué nos falta saber. Documento de la Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. 20 P. 1999.

MARTINEZ CORREAL, Germán. Mejoramiento genético y cruces lecheros. En: CONGRESO PANAMERICANO DE LA LECHE. (5 : 1994 : Medellín) . P. 68-73.

THE BABCOCK INSTITUTE for Internacional Dairy Research and Development. University of Wisconsin. Madison, Wisconsin. P. 53-64.

VACCARO, Dora L. Genética de bovinos en América tropical: alcances y prioridades inmediatas. En: Venezuela Bovina. No. 22 (1993) ; p. 18-19, 45-47.

MERRILL, Loraine Stuart. Cruzas entre razas: aprendiendo sobre el camino. En: Hoard 's Dairyman. No. 12 (Dic. 2001) ; p. 864-865.

ARBOLEDA A. , Óscar. Cruces lecheros: Importancia y efectos en producción. Documento. Medellín: Universidad Nacional, 1994. 22 p.