

**EVALUACIÓN GENÉTICA DEL RECURSO ANIMAL DE LOS SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN DE BOVINOS EN DOBLE PROPÓSITO EN COLOMBIA**

ADRIANA PATRICIA GALEANO RIVERA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y DE ZOOTECNIA
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO
LÍNEA DE MEJORAMIENTO ANIMAL
BOGOTÁ
2010**

**EVALUACIÓN GENÉTICA DEL RECURSO ANIMAL DE LOS SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN DE BOVINOS EN DOBLE PROPÓSITO EN COLOMBIA**

ADRIANA PATRICIA GALEANO RIVERA

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Magíster Science en Producción Animal Línea Mejoramiento Animal**

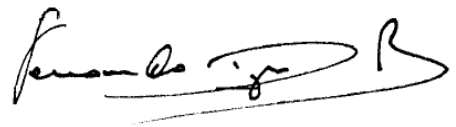
Director

Dr. Carlos Manrique Perdomo, Z., Ph.D.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y DE ZOOTECNIA
DEPARTAMENTO DE POSTGRADO
LÍNEA DE MEJORAMIENTO ANIMAL
BOGOTÁ**

2010

Nota de aceptación:



Dr. FERNANDO ARIZA
Presidente del jurado



Dr. FRANCISCO HENAO
Jurado



Dr. GERMÁN MARTÍNEZ
Jurado



Dr. HUMBERTO TONHATI
Jurado

Bogotá, 28 de Junio de 2010.

*"A mi padre celestial,
Eterna sabiduría,
Mi triunfo en pelear,
Mi descanso en trabajar,
Fuente de mi alegría,
La prueba de mi verdad."*

A mis queridos padres, ejemplo de dedicación, lucha y sabiduría.

A Jorge, mi fiel compañero, mi eterno amor.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa un profundo agradecimiento al Doctor Carlos Manrique Perdomo, director del presente trabajo de investigación, por su asesoría, acompañamiento, y dedicación permanentes en el desarrollo de éste proceso de formación.

A los miembros del comité evaluador, Doctores Francisco Henao, Germán Martínez y Humberto Tonhati, por los valiosos aportes realizados en la construcción y fortalecimiento del presente estudio.

A la Asociación Colombiana de Criadores de Ganado en Doble Propósito, y a su presidente, Doctor Roberto Tatis Zambrano, por su disposición, y por el suministro de la información empleada en el desarrollo de ésta investigación.

El autor manifiesta que el presente documento titulado: *EVALUACIÓN GENÉTICA DEL RECURSO ANIMAL DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BOVINOS EN DOBLE PROPÓSITO EN COLOMBIA*, es original y se realizó sin usurpar ó transgredir derechos de autor de terceros. Por lo tanto, es de su exclusiva autoría y preserva su titularidad sobre la misma.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	13
1. REVISIÓN DE LITERATURA	14
1.1 EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN BOVINA DE DOBLE PROPÓSITO	14
1.1.1 Descripción	14
1.1.2 Características	15
1.1.2.1 Amamantamiento restringido	15
1.1.2.2 Manejo productivo y reproductivo	16
1.1.2.3 Selección	17
1.2 LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO ANIMAL	19
1.2.1 Parámetros genéticos	20
1.2.1.1 Heredabilidad	20
1.2.1.2 Correlación genética	21
1.2.1.3 Repetibilidad	22
1.2.2 Metodología de evaluación genética animal	23
1.2.2.1 El modelo animal	24
1.3 BIBLIOGRAFÍA	26
2. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y REPRODUCTIVO DEL RECURSO ANIMAL DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BOVINOS EN DOBLE PROPÓSITO EN COLOMBIA	30
2.1 INTRODUCCIÓN	31
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS	34
2.2.1 Localización	34
2.2.2 Descripción de los datos	35
2.2.3 Análisis de datos	36
2.2.4 Análisis estadístico	37

2.3 RESULTADOS	39
2.3.1 Intervalo entre partos	39
2.3.2 Producción de leche	40
2.3.3 Peso al destete	41
2.3.4 Índice de Vaca	41
2.4 DISCUSIÓN	42
2.4.1 Intervalo entre partos	42
2.4.2 Producción de leche	44
2.4.3 Peso al destete	45
2.4.4 Índice de Vaca	47
2.5 CONCLUSIONES	48
2.6 BIBLIOGRAFÍA	50
3. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS Y REPRODUCTIVAS EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BOVINOS EN DOBLE PROPÓSITO EN COLOMBIA	53
3.1 INTRODUCCIÓN	54
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	58
3.2.1 Localización	58
3.2.2 Descripción de los datos	59
3.2.3 Análisis de datos	60
3.2.4 Análisis estadístico	62
3.3 RESULTADOS	64
3.4 DISCUSIÓN	65
3.4.1 Intervalo entre partos	65
3.4.1.1 Heredabilidad	65
3.4.1.2 Repetibilidad	67
3.4.2 Producción de leche	67
3.4.2.1 Heredabilidad	67
3.4.2.2 Repetibilidad	69

3.4.3	Peso al destete	69
3.4.3.1	Heredabilidad	69
3.4.3.2	Repetibilidad	70
3.4.4	Índice de Vaca	72
3.4.4.1	Heredabilidad	72
3.4.4.2	Repetibilidad	73
3.4.5	Correlaciones genéticas y fenotípicas	73
3.5	CONCLUSIONES	75
3.6	BIBLIOGRAFÍA	77
4.	ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL GENÉTICO DEL RECURSO ANIMAL DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BOVINOS EN DOBLE PROPÓSITO EN COLOMBIA	83
4.1	INTRODUCCIÓN	84
4.2	MATERIALES Y MÉTODOS	88
4.2.1	Localización	88
4.2.2	Descripción de los datos	89
4.2.3	Análisis de datos	90
4.2.4	Análisis estadístico	91
4.3	RESULTADOS	93
4.4	DISCUSIÓN	97
4.5	CONCLUSIONES	100
4.6	BIBLIOGRAFÍA	102
5.	CONCLUSIONES	105
6.	RECOMENDACIONES	108

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Conformación de grupos genéticos con base en la composición Racial del animal.	37
Tabla 2. Promedios ajustados de intervalo entre partos (d), de acuerdo con la composición racial del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.	39
Tabla 3. Promedios ajustados de producción de leche por lactancia (Kg) de acuerdo con la composición racial del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.	40
Tabla 4. Promedios ajustados de peso de las crías al destete (Kg), de acuerdo con la composición racial del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.	41
Tabla 5. Promedios ajustados de Índice de Vaca, de acuerdo con la composición racial del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.	42
Tabla 6. Conformación de grupos genéticos con base en la composición Racial del animal.	61
Tabla 7. Componentes de varianza estimados para las características productivas y reproductivas del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.	64
Tabla 8. Heredabilidades (h^2) y repetibilidades (R) estimadas para las características productivas y reproductivas del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.	65
Tabla 9. Correlaciones genéticas y fenotípicas estimadas para las características productivas y reproductivas del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.	65
Tabla 10. Conformación de grupos genéticos con base en la composición Racial del animal.	91

Tabla 11. Valores genéticos estimados (VGE) mínimos y máximos y exactitud de predicción (EXA), para las características productivas y reproductivas del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.	93
Tabla 12. Valores genéticos estimados (VGE) límites, número de animales (N), VGE promedio y exactitud de predicción (EXA), para el 15% superior de la población de los sistemas doble propósito en Colombia.	94
Tabla 13. Valores genéticos estimados (VGE) límites, número de animales (N), VGE promedio y exactitud de predicción (EXA), para el 10% inferior de la población de los sistemas doble propósito en Colombia.	95

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Tendencia genética estimada para el intervalo entre partos durante el periodo comprendido entre 1998 y 2003, en los sistemas doble propósito en Colombia.	95
Figura 2. Tendencia genética estimada para la producción de leche por lactancia durante el periodo comprendido entre 1998 y 2003, en los sistemas doble propósito en Colombia.	96
Figura 3. Tendencia genética estimada para el peso de las crías al destete durante el periodo comprendido entre 1998 y 2003, en los sistemas doble propósito en Colombia.	96
Figura 4. Tendencia genética estimada para el Índice de Vaca durante el periodo comprendido entre 1998 y 2003, en los sistemas doble propósito en Colombia.	97

EVALUACIÓN GENÉTICA DEL RECURSO ANIMAL DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BOVINOS EN DOBLE PROPÓSITO EN COLOMBIA

RESUMEN

Con el objetivo de determinar el verdadero potencial genético del recurso animal disponible en los sistemas de producción bovina de doble propósito del trópico bajo colombiano, se evaluaron los registros de producción de leche por lactancia (Kg), peso al destete (Kg), intervalo entre partos (d) e Índice de Vaca, de 1.687 hembras reproductoras, durante los años 1998 y 2007. Se empleó un modelo animal mixto que incluyó los efectos genéticos aleatorios del animal, el medio ambiente permanente y el residual, así como los efectos fijos del grupo contemporáneo (finca-sexo-época-año), la composición racial, y la duración de la lactancia como covariable. Se obtuvieron las medias ajustadas para cada una de las características analizadas, y se determinaron los factores de tipo no genético que influyeron en su expresión. Se estimaron los componentes de varianza y parámetros genéticos, resaltándose los valores de heredabilidad y repetibilidad medios obtenidos para el Índice de Vaca, el cual es la base de los programas de selección en estos sistemas de producción. Se estimaron los valores genéticos para cada animal, y se clasificaron de acuerdo a sus rangos de variación. Se obtuvieron las tendencias genéticas para el periodo de tiempo evaluado, y se determinó la ausencia generalizada de progreso genético en estos sistemas de producción.

Palabras clave: evaluación genética, doble propósito, producción de leche, peso al destete, intervalo entre partos, Índice de Vaca.

GENETIC EVALUATION OF DUAL PURPOSE PRODUCTION SYSTEMS IN COLOMBIA

ABSTRACT

In order to determine the true genetic potential of available animal in the dual purpose cattle production systems in Colombian low tropic, milk yield (kg), weaning weight (kg), calving interval (d) and cow index records were evaluated, for 1.687 mature females, during the period from 1998 to 2007. A mixed animal model that included random animal genetic effects, permanent and residual environment, and fixed effects of the contemporary group (farm-sex-season-year), breed composition, and lactation length as a covariate was used. The adjusted means for the characteristics evaluated, and the non-genetic factors influencing its expression were obtained. The variance components and genetic parameters were estimated, highlighted the middle values of heritability and repeatability obtained for the cow index, which is the background for selection programs in these production systems. Genetic values were estimated for each animal, and they were classified according to the ranges of variation. Genetic trends were obtained for the period evaluated, and the general lack of genetic progress in these production systems was determined.

Key words: genetic evaluation, dual purpose, milk yield, weaning weight, calving interval, cow index.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN BOVINA DE DOBLE PROPÓSITO

1.1.1 Descripción. La producción vacuna tradicionalmente ha sido una de las principales actividades productivas del sector agropecuario en Colombia, lo cual obedece en gran parte, a la abundante dotación de sabanas y humedales utilizables en ganadería. De los 25 millones de cabezas estimadas del hato nacional, cerca del 42% son manejadas bajo los sistemas de producción de doble propósito, los cuales contribuyen con alrededor del 63%, y el 50% de la leche y carne consumida en el país (Holmann *et al.*, 2003; Botero, 2009).

El doble propósito no es considerado como una raza ni un cruce, sino como un sistema de producción donde la madre y el ternero constituyen una unidad biológica y económica durante la lactancia, generando simultáneamente carne y leche de manera eficiente (Tatis y Botero, 2005; Botero, 2009). Se caracteriza porque las vacas presentan un alto porcentaje de genes *Bos indicus* ó cruces con razas *Bos taurus*, y basan su alimentación en sistemas extensivos con base en pastoreo (Arias *et al.*, 1990).

A pesar de los niveles de producción media que se presentan generalmente en estos sistemas, se considera que su importancia fundamental dentro de la ganadería tropical de clima cálido, radica en su alta capacidad de flexibilidad y adaptación a las difíciles condiciones de alta luminosidad, oferta de forrajes en alta cantidad pero de baja calidad, fluctuación entre periodos lluviosos y periodos de extrema sequía, condiciones sanitarias adversas, mano de obra poco calificada, créditos escasos, poca investigación y baja transferencia de tecnología, entre otros (Tatis y Botero, 2005; Botero, 2009).

Adicionalmente, presenta grandes fortalezas con respecto a los sistemas de producción de lechería especializada, tales como el menor riesgo debido a las variaciones en los precios de leche y carne, menor necesidad de inversión de

capital, demanda abundante de mano de obra poco calificada, y flexibilidad en la producción de acuerdo a su demanda ó precio, entre otros (Seré, 1983; Tatis y Botero, 2005).

1.1.2 Características.

1.1.2.1 Amamantamiento restringido. En el sistema vacuno de doble propósito el manejo está basado en el amamantamiento restringido, caracterizado por una reducción en el tiempo de permanencia del ternero con la vaca, dependiendo de la edad, y en el uso exclusivo de forrajes y sal mineralizada a voluntad. En los primeros días de vida, el ternero consume a voluntad el calostro y permanece con su madre todo el tiempo alrededor de una semana; a partir de ésta fecha y hasta los cuatro meses de edad, el ternero se encuentra con su madre en el ordeño, sirve de apoyo y se toma la leche residual; luego se apartan después del ordeño, para reunirse nuevamente después de seis horas, donde el ternero consume toda la leche que la vaca ha producido (Tatis y Botero, 2005; Tatis, 2006).

Después de los cuatro meses, la vaca es ordeñada a fondo y el ternero solo consume la leche residual; el resto del día están pastoreando en potreros independientes. Como la leche tiene 25% de proteína con base en materia seca, al hacer una restricción en el aporte de leche, ésta se debe reemplazar en parte por arbóreas que tienen un contenido de proteína similar, y no solo por pastos que tienen menos de la mitad de este contenido de proteína, y una menor calidad (Tatis, 1999; Tatis y Botero, 2005).

Este sistema proporciona varias ventajas desde el punto de vista biológico y económico tales como:

- Aumento de la eficiencia reproductiva; ya que al apartar el ternero se estimula el estro de la vaca (Tatis, 1999).

- Estimulación temprana del desarrollo del rumen del ternero; ya que al estar restringido en el consumo de leche se ve en la necesidad de utilizar forraje (Tatis, 1999).
- Utilización de la leche residual que representa entre el 20%- 25% en ganado Cebú y 15% en el F1 Europeo- Cebú; ésta posee un mayor contenido de grasa, y al ser extraída por el ternero reduce la incidencia de mastitis en la vaca, no solo por eliminar el medio de cultivo para los microorganismos, sino por el control que ejerce la saliva sobre estos (Tatis y Botero, 2005).
- Disminución de la mortalidad en terneros, entre otras razones, porque estos no se encierran ni se estabulan, y hay un buen control diario sobre ellos (Tatis, 1999).

1.1.2.2 Manejo productivo y reproductivo. El destete se realiza teniendo en cuenta tanto el estado reproductivo de la vaca, como la producción de leche y la edad del ternero. Por estado reproductivo, se realiza cuando las vacas tienen entre 6 y 7 meses de preñez confirmada mediante palpación rectal; por producción de leche, cuando la cantidad no justifica económicamente el ordeño; y por edad al destete, procurando no destetar terneros muy jóvenes en épocas críticas (Tatis, 1999; Tatis y Botero, 2005).

Después del destete, tanto machos como hembras se separan en lotes independientes, y van a praderas de buena calidad para garantizar que continúen con su crecimiento y desarrollo. Posteriormente, los hijos de las vacas de mejor Índice de Vaca¹ (IV) se someten a pruebas de comportamiento pesándolos cada tres meses hasta los 24 meses, y el resto pasa para ceba. En el caso de las hembras, se descarta el 10% de menor ganancia de peso al

¹ Índice desarrollado para la selección de hembras reproductoras. Mide la eficiencia productiva (Kg de leche por lactancia y Kg de ternero desteto) en el periodo comprendido entre dos partos (Tatis y Botero, 2005).

cumplir los 24 meses de edad, y el resto se consideran para servicio cuando alcanzan el 60% del peso promedio de su vacada adulta (Tatis y Botero, 2005; Tatis, 2006).

1.1.2.3 Selección. En el caso de los machos, el proceso de selección debe realizarse de acuerdo a la estimación de la ganancia de peso diaria a los 24 ó 30 meses de edad, y cuando se establece que cumplen como mejorantes para la vacada. Posteriormente, se debe realizar un examen andrológico que determine si es viable utilizar al animal como reproductor (Tatis, 2006).

A pesar de que la selección de hembras reproductoras generalmente ha sido desplazada en la mayoría de los sistemas de producción animal, por la importancia y eficiencia de la selección de machos para mejorar las diferentes características productivas y reproductivas de los hatos, en los sistemas bovinos de doble propósito ésta se considera como una medida genética y económica de gran importancia para el productor, ya que es la hembra quien constituye la unidad básica de producción (Tatis, 1999).

La evaluación de la producción total de una vaca en los sistemas doble propósito, debe tener en cuenta tanto la producción de leche por lactancia, como el peso al destete de su cría y su eficiencia reproductiva. El periodo de tiempo transcurrido entre un parto y otro (intervalo entre partos), es considerado como uno de los indicadores más precisos de la eficiencia reproductiva de las hembras adultas, ya que involucra la mayoría de los procesos reproductivos que definen la habilidad de la hembra (involución uterina, retorno al estro, servicios por concepción, entre otros), y además es estimado frecuentemente en la mayoría de los sistemas de producción ganadera a cualquier escala (Salgado *et al.*, 2002).

De acuerdo con Tatis y Botero (2005), algunas vacas sobresalen en ciertas características más que en otras, y generalmente aquellas que cuentan con una mejor capacidad lechera tienden a tener una menor eficiencia reproductiva;

para poderlas evaluar y comparar entre sí sobre una misma base, es necesario asignar un valor económico y/o biológico a cada característica, y agrupar estos valores en un solo estimador integral el cual es conocido como el Índice de Vaca (IV).

Este Índice fue desarrollado por la Asociación Colombiana de Criadores de Ganado en Doble Propósito (ASODOBLE), con la colaboración de la Corporación Tecnoagropecuaria Magangué en el año de 1984, y estima la eficiencia productiva (carne y leche) y reproductiva (intervalo entre partos) como una medida de la eficiencia producto (ternero y leche) en el periodo comprendido entre dos partos:

El factor K permite sumar leche con carne, pues se considera que son dos productos (sumandos) distintos. Como la proteína contenida en la leche está al 3,5% y la proteína de la carne al 17,5%, la relación proteína de la leche proteína de la carne es 1:5; de tal manera que cuando se divide la producción de leche por 5, se igualan en valor biológico y pueden sumarse. El factor de relación económica fluctúa entre 1:3 y 1:8, con promedio de 1:5; de manera que al trabajar con un factor menor que 5, se favorece la leche y se usa en las zonas donde la leche es más costosa con relación al ternero desteto, y viceversa (Tatis, 1999).

Es importante tener en cuenta que este índice no se da en kilogramos ni en días, ya que es considerado como un valor relativo de comparación dentro del ható que agrupa las hembras según su potencial, para seleccionar las madres de toros y los posibles descartes (Tatis y Botero, 2005).

1.2 LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO ANIMAL

González (2000), define al mejoramiento genético animal como la aplicación de principios biológicos, económicos y matemáticos, con el fin de encontrar estrategias óptimas para el aprovechamiento de la variación genética que existe en una especie de animales en particular para maximizar su mérito, involucrando tanto la variación genética existente entre los individuos de una raza, como la variación presente entre razas y cruces.

De acuerdo con Ossa y Manrique (1998), el mejoramiento genético animal cuenta básicamente con dos herramientas: la selección y los sistemas de apareamiento. A su vez, los sistemas de apareamiento esencialmente son dos: la endogamia y el cruzamiento; la endogamia es el método de apareamiento de individuos parientes, que tiene como finalidad incrementar la consanguinidad en una población; mientras que el cruzamiento es el apareamiento entre animales con un coeficiente de parentesco menor que la media de la población, con el objetivo promover el vigor híbrido ó heterosis para una característica determinada (Ossa, 2003).

Por su parte, la selección es considerada como el conjunto de procesos que permiten alterar las frecuencias de los genes y concentrar en las poblaciones genotipos de un mayor potencial, a los cuales, si se les brindan las condiciones ambientales adecuadas, ayudan a elevar la media poblacional con respecto a los índices productivos y reproductivos establecidos (Ossa y Manrique, 1998).

En las empresas ganaderas hay dos categorías generales de selección: la primera, es cuando la empresa comienza a elegir entre los tipos ó razas disponibles, de manera que cuando se escoge como base un tipo ó raza con la combinación de rasgos más apropiada para el propósito deseado, es posible ahorrar en muchas generaciones de selección; mientras que la segunda categoría de selección, se lleva a cabo dentro de la población con el propósito fundamental de incrementar la frecuencia de ciertos genes ó combinaciones de

genes deseables, mediante la estimación previa de los valores genéticos de los animales de la población (Legates y Warwick, 1992).

1.2.1 Parámetros genéticos. De acuerdo con Ossa (2003), los parámetros genéticos sirven para evaluar las precisiones de las predicciones del valor genético de los animales, y las respuestas genéticas de un plan de mejoramiento genético animal. Los parámetros genéticos con los cuales se establecen los programas de mejoramiento genético animal son principalmente tres: la heredabilidad de las características evaluadas, las correlaciones genéticas presentes entre ellas, y la repetibilidad.

1.2.1.1 Heredabilidad. La heredabilidad (h^2) es considerada como la proporción de la variación fenotípica de una característica determinada, que es atribuida al efecto de los genes. Dentro de la varianza genética, la más importante es la causada por los efectos aditivos de los genes; la relación entre la varianza aditiva (σ^2_A) y la varianza fenotípica (σ^2_F) permite obtener la heredabilidad en sentido estricto, la cual se puede expresar de la siguiente manera:

$$h^2 = \frac{V_A}{V_F} = \frac{V_A}{V_A + V_{NA} + V_E}$$

donde:

h^2 = heredabilidad.

V_A = varianza aditiva.

V_F = varianza fenotípica.

V_{NA} = varianza no aditiva.

V_E = varianza residual.

Adicionalmente, en algunas ocasiones se determina la heredabilidad en el sentido amplio, en la cual se tiene en cuenta toda la variación genética de la característica (varianza aditiva más no aditiva). Los valores de este parámetro genético varían entre 0 y 1; de tal manera que valores cercanos a 0 indican que el efecto de los genes es bajo ó nulo, mientras que valores cercanos a 1

indican que los genes tienen una alta influencia en la expresión de la característica (Ruales *et al.*, 2007).

Algunos autores categorizan la heredabilidad como baja (si es menor de 0,25), media ó moderada (si está entre 0,25 y 0,50) ó alta (si es mayor a 0,50); estos rangos facilitan el uso de este parámetro para direccionar los programas de mejoramiento genético, ya que valores bajos indican que el mejoramiento se debe realizar combinando genéticas diferentes (cruzamientos), mientras que valores altos indican que la selección de los animales es la herramienta más apropiada para mejorar la característica (Ruales *et al.*, 2007).

1.2.1.2 Correlación genética. En la mayoría de los sistemas productivos, el mejoramiento genético no se centra en una sola característica, sino en todas aquellas que el productor pueda cuantificar, y que sean de interés dentro de su programa de mejoramiento; de tal manera que el conocimiento del grado de asociación que exista entre ellas, influirá en la respuesta obtenida de manera individual (Falconer, 1981).

El grado de asociación entre dos variables es conocido como correlación (r); desde el punto de vista genético, es necesario conocer la correlación genética que existe entre dos características a mejorar, ya que cuando se van a realizar procesos de selección, la mejora de una característica puede mejorar ó desmejorar otra. La correlación genética entre dos características X y Y puede ser determinada de la siguiente manera:

$$r_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sqrt{V_x V_y}}$$

donde:

r_{xy} = correlación genética entre dos características X y Y.

C_{xy} = covarianza genética entre dos características X y Y.

V_x = varianza genética de la característica X.

V_y = varianza genética de la característica Y.

El rango de valores de la correlación genética varía entre -1 y +1, donde los valores negativos indican que aumentos en los valores de una característica, se encuentran asociados a disminuciones en los valores de la otra; mientras que los valores positivos, indican que aumentos en los valores de una característica, están asociados a aumentos en la otra. Si se toma el valor absoluto del rango de valores de la correlación genética, se genera una escala de 0 a 1 similar a los valores de la h^2 , por lo cual se puede hablar de correlaciones bajas (menores de 0,25), medias ó moderadas (0,25 a 0,50) y altas (mayores de 0,50) (Ruales, *et al.*, 2007).

1.2.1.3 Repetibilidad. Existen características que se repiten en el tiempo en el mismo individuo, tales como la producción de leche total medida a través del número de lactancias de una misma vaca, ó el peso al nacimiento de las camadas de una cerda durante diferentes partos. En los análisis genéticos para este tipo de características, se origina un componente adicional de varianza conocido como varianza de ambiente permanente, que establece la variabilidad de medidas repetidas de los individuos, que es causada por las condiciones ambientales constantes en el tiempo (Ruales *et al.*, 2007).

Esa correlación existente entre las medidas repetibles de una misma característica en un mismo individuo, es conocida como Repetibilidad (R), y determina la proporción de la varianza fenotípica total de una característica, que es causada por el medio ambiente permanente y la genética (Quijano y Montoya, 1998; Ossa y Manrique, 1999). De esta manera, la R para una característica determinada está dada por la siguiente fórmula:

$$R = \frac{V_G + V_{EP}}{V_F}$$

donde:

R = repetibilidad.

V_G = varianza genética.

V_{EP} = varianza de entorno permanente.

V_F = varianza fenotípica.

Al igual que en los demás parámetros genéticos descritos con anterioridad, la Repetibilidad de una característica determinada se puede categorizar como baja (menor a 0,25), media ó moderada (0,25 a 0,50) y alta (mayor de 0,50).

1.2.2 Metodología de evaluación genética animal. En las poblaciones hay diferencias entre individuos en su expresión fenotípica para una determinada característica, las cuales son atribuidas tanto al efecto de los genes y combinaciones genéticas del individuo (genotipo), como al conjunto de factores medio ambientales que influyen en su expresión. La evaluación genética es un proceso mediante el cual se procura proveer el valor genético de los animales para una ó más características de interés, con el objetivo de identificar los animales existentes en la población ó una muestra con mejor valor genético en el rasgo analizado, ya sea para ser utilizados como reproductores, ó para descartar los peores individuos en la población (Ruales *et al.*, 2007).

Existen varios métodos para valorar genéticamente a los animales: los más simples y menos precisos se basan en los datos de producción del animal ó de sus parientes, para lo cual se utilizan técnicas estadísticas sencillas; mientras que los más complejos y precisos, tienen en cuenta la mayoría de los factores ambientales y genéticos que pueden estar influyendo en la expresión de la característica, aunque requieren de métodos estadísticos que implican el uso de procesos computacionales sofisticados (Ruales *et al.*, 2007).

Estos métodos de estimación han ido evolucionado a través del tiempo de acuerdo con las condiciones y facilidades para realizar las pruebas. Inicialmente, en el año de 1912 se desarrolló la metodología de Comparación Madre – Hija basada en la comparación de los registros de producción de leche de las hijas con los de sus madres, para el evaluar el valor genético del padre (Cordovi, 1984). Posteriormente, (1925) se desarrollaron los métodos de comparación de contemporáneas y compañeras de hato como una respuesta a la necesidad de expresar la producción de cada hija como desviación del

promedio de sus contemporáneas, eliminando los errores procedentes de las diferencias ambientales entre rebaños y períodos de tiempo (Solarte, 1992).

Sin embargo, es importante anotar que a pesar de que estas técnicas fueron modificadas y mejoradas por varios investigadores como Robertson y Rendel durante la década de los 70, deben considerarse hoy como tradicionales, pues si bien han sido la base de la mayoría de métodos de evaluación, las condiciones actuales de las poblaciones ganaderas ha obligado a sustituirlos por otras más precisas (Solarte, 1992; Cura, 2003).

1.2.2.1 El modelo animal. Tras varios años de investigación, se forjaron las pautas para el desarrollo de nuevas metodologías que minimizaron el efecto de los factores del entorno del animal en la estimación de su mérito genético, teniendo en cuenta la evolución de las razas y el medio ambiente en general. Una de las más desarrolladas e implementadas en los sistemas de producción de carne y leche es la metodología del modelo animal, el cual se basa en el animal y su relación con otros animales evaluados de manera simultánea, incluyendo la información del animal mismo, sus ancestros y su progenie, de manera que todos los parientes identificados de un animal afectan la evaluación, y la influencia de cada pariente depende del grado de parentesco existente entre los individuos (ACHA, 1999).

El sistema de evaluación que en la actualidad permite realizar este tipo de análisis, es el de los Mejores Predictores Lineales Insesgados (MPLI) ó BLUP que garantiza la máxima probabilidad de evaluar y ordenar los animales de forma correcta e insesgada. La teoría del BLUP originalmente desarrollada en Estados Unidos por el Dr. C.R. Henderson en la década del 70, es considerada como un modelo estadístico que consiste de un gran conjunto de ecuaciones simultáneas, las cuales se solucionan para dar estimadores de los efectos fijos (entorno) y aleatorios (genética) que influyen en la expresión de una característica determinada; este procedimiento incorpora datos de los rendimientos individuales del animal junto con aquellos datos procedentes de

sus ascendientes y colaterales, teniendo en cuenta las fuentes de variación tanto genéticas como ambientales, y midiendo la tendencia genética a través del tiempo (Solarte, 1992; Quijano y Montoya, 1998; León, 1999; Cura, 2003).

El principio básico de este modelo es evaluar los efectos que inciden en la expresión de una característica, teniendo en cuenta que tanto el medio ambiente como la genética influyen en el desempeño actual del animal, de tal manera que se pueda obtener un estimador confiable e insesgado del mérito genético del mismo (Manrique, 1995; Quijano y Montoya, 1998).

En estudios desarrollados por Stanton *et al.* (1992), Cruz (1993), Martínez (1993), Vanegas (1994) y Funk (1998), se concluye que dentro de los factores que influyen de manera significativa en el comportamiento de la producción (carne ó leche) de diferentes razas de bovinos, se encuentran: el año de parto, la época de parto, el sexo de la cría, el número de parto y los efectos temporales del medio ambiente, los cuales han sido definidos como aquellos que no afectan de manera permanente los registros productivos de las vacas, tales como incidencia de mastitis, enfermedades parasitarias y niveles nutricionales entre otros (Dalton, 1980; Verneque *et al.*, 1997; Sanna *et al.*, 2002).

En este sentido es importante tener en cuenta que no todos los modelos incluyen todas las variables, ya que en muchos casos es preciso ajustar la información existente previamente, para que se puedan realizar los análisis pertinentes de manera válida y uniforme (Martínez, 1993).

Los beneficios de este tipo de metodología se refieren principalmente a la flexibilidad y habilidad que poseen de separar el componente genético del medio ambiental, de tal manera que permiten no solamente obtener valores confiables del mérito genético de los animales, sino que además permiten detectar los problemas de manejo que se generan al interior del sistema de

producción, y así tomar los correctivos y decisiones necesarias a corto plazo de una manera eficaz (Jensen, 2001; Uribe, 2001).

Los resultados de las evaluaciones genéticas, se presentan como las predicciones de los valores genéticos de los individuos con respecto a la población en estudio (diferencia predicha ó valor genético estimado). Se considera que cuando el reproductor evaluado genera descendencia, únicamente contribuye con la mitad de ese valor genético a la siguiente generación; por lo que se estima que la mitad de su valor genético será la diferencia que se espera encontrar en sus hijos, lo cual es conocido en ganado de carne como diferencia esperada de progenie (DEP), y en ganado de leche como habilidad predicha de transmisión (HPT) (Ruales, *et al.*, 2007).

Adicionalmente, para la interpretación adecuada de los valores genéticos de los reproductores evaluados a través de estas metodologías, es fundamental conocer la exactitud ó confiabilidad de la estimación; éste valor ayuda a los profesionales y productores a determinar el valor de incertidumbre ó riesgo, asociado con las decisiones que se tomen con respecto al uso de esos resultados. La exactitud es un reflejo de la distribución y número de progenies de cada reproductor con las cuales se desarrolló la evaluación, de manera que a mayor exactitud, menor posibilidad de cambio en la estimación y por ende, mayor confiabilidad en la predicción del valor genético (ASOCEBÚ, 2006).

1.3 BIBLIOGRAFÍA

Holmann F, Rivas L, Carulla J, Rivera B, Giraldo LA, Guzmán S, Martínez M, Medina A y Farrow A. Evolución de los Sistemas de Producción de Leche en el Trópico Latinoamericano y su interrelación con los Mercados: Un Análisis del Caso Colombiano [en línea] 2003. Disponible en: URL: <http://www.ciat.cgiar.org>

Botero LM. Ganadería vacuna trashumante: desarrollo del sistema doble propósito y su valor para la seguridad alimentaria. I congreso internacional de bovinos en doble propósito trópico alto, medio y bajo; 2009 May 25-27; Cartagena de Indias, Colombia.

Tatis RE y Botero LM. Génesis y consolidación del sistema vacuno en doble propósito. Bogotá, Colombia: Ed. Produmedios; 2005.

Arias J, Balcázar A y Hurtado R. Sistemas de producción bovina en Colombia. Coyuntura Agropecuaria. 1990; 6(4): 83-119.

Seré C. Classification of milk production systems in tropical South America: a first approximation. Trop. Anim. Prod. 1983; 8: 99.

Tatis RE. El sistema vacuno en doble propósito. Agricultura de las Américas. 2006; 357: 2-4.

Tatis RE. Fundamentos y técnicas para la selección de ganados manejados en el sistema de doble propósito. 1 ed. Cartagena de Indias, Colombia: Ed. USATI; 1999.

Salgado R, Cury A, Ruiz R y Álvarez J. Evaluación del comportamiento reproductivo postparto, influido por la época del año y la raza en bovinos bajo el sistema doble propósito. Rev. MVZ Córdoba. 2002; 7 (1): 152-156.

González A. Métodos de selección en ganado lechero [en línea] 2000. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Disponible en: URL: <http://www.fmvz.uat.edu.mx>.

Ossa GA y Manrique C. Programa nacional de mejoramiento genético en ganado bovino de carne, esquema general. Rev. El Cebú. 1998; 302: 56-74.

Ossa GA. Mejoramiento genético aplicado a los sistemas de producción de carne. 1 ed. Bogotá, Colombia: Ed. Produmedios; 2003.

Legates JE y Warwick EJ. Cría y mejora del ganado. Ed. Interamericana MacGraw Hill; 1992.

Ruales FR, Manrique C y Cerón MF. Fundamentos en mejoramiento animal. 1 ed. Medellín, Colombia: Ed. L. Vieco e Hijas Ltda.; 2007.

Falconer DS. Introduction to quantitative genetics. 2 ed. Ed. Longman Group Ltda.; 1981.

Quijano JH y Montoya C. El modelo animal y su comparación con otras ayudas de selección, para producción de leche. Rev. Fac. Nal Agr. Medellín. 1998; 51 (2): 51-64.

Ossa GA y Manrique C. La repetibilidad y el índice materno productivo como criterios de selección. Rev Med. Vet. Zoot. 1999; 72: 7-14.

Cordovi J. Comparación de métodos utilizados en la evaluación de toros para la producción de leche. Rev. Cub. Reprod. Anim. 1984; 10: 57-68.

Solarte C. Utilización de diferentes métodos para estimar valor genético de reproductores Holstein registrados en cuatro regiones de Colombia [tesis de grado]. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia: Universidad Nacional de Colombia; 1992.

Cura EE. Desarrollo y progreso de las evaluaciones genéticas en los bovinos [monografía]. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia: Universidad Nacional de Colombia; 2003.

Asociación de Criadores de Holando Argentino (ACHA). Evaluación genética por producción y tipo de reproductores Holando Argentino. 1999.

León E. El BLUP en el mejoramiento genético del cerdo, reseña bibliográfica [en línea] 1999. Instituto de investigaciones porcinas de la Habana, Cuba. Disponible en: URL:<http://www.sian.info.ve>.

Manrique C. El uso de modelos mixtos en la evaluación animal. Simposio Internacional de Estadística "Estadística en agricultura y medio ambiente"; 1995 Jun 11 – 15; Santa Marta, Colombia.

Stanton TL, Jones LR, Everett RW and Kachman SD. Estimating milk, fat, and protein lactation curves with a test day model. J. Dairy Sci. 1992; 75: 1691-1700.

Cruz C. Factores genéticos y ambientales que afectan la producción y reproducción de un ható pardo suizo mestizo en el piedemonte llanero [tesis de grado]. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia: Universidad Nacional de Colombia; 1993.

Martínez M. Determinación de factores de ajuste para ganado Holstein en sabana de Bogotá [tesis de grado]. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia: Universidad Nacional de Colombia; 1993.

Vanegas, O. Estimación de parámetros genéticos productivos y reproductivos en ganado Normando registrado [tesis de grado]. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia: Universidad Nacional de Colombia; 1994.

Funk D. The animal model, genetic evaluation procedures for dairy production traits [on line] 1998. University of Wisconsin, Cooperative Extension. Disponible en: URL: <http://www.cecommerce.uwex.edu>.

Dalton DC. Introducción a la genética animal práctica. Zaragoza, España: Ed. Acribia; 1980.

Verneque RS, Martínez ML, Teodoro RL, O.Paula LR, Ledic IL, y Barbosa MV. Programa Nacional de Melhoramento do Gir Leiteiro, resultado do teste de progenie 11º grupo [en línea] 1997. Empresa brasileira de pesquisa agropecuaria. Disponible en: URL: <http://www.cnpqgl.embrapa.br>.

Sanna SR, Carta A y Casu S. Genotype by environment interaction for milk yield in sarda dairy sheep. *J. Anim Breed Genet.* 2002; 119: 190-199.

Jensen J. Genetic evaluation of dairy cattle using test day models. *J. Dairy Sci.* 2001; 84: 2803- 2812.

Uribe HA. Modelando el día de control: nueva técnica estadística en evaluación genética de ganado bovino lechero. *Rev. Agricultura Técnica.* 2001; 61(4): 500-511.

Asociación Colombiana de Criadores de ganado Cebú (ASOCEBÚ). Evaluación genética de toros Brahman 2006. Asocebú Colombia. 2006.

2. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y REPRODUCTIVO DEL RECURSO ANIMAL DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE BOVINOS EN DOBLE PROPÓSITO EN COLOMBIA

RESUMEN

Con el objetivo de caracterizar el comportamiento de la producción de leche por lactancia, el peso de las crías al destete, el intervalo entre partos y el Índice de Vaca de las hembras bovinas manejadas en los sistemas de producción de doble propósito, se analizaron los registros productivos y reproductivos de 1.687 vacas adultas registradas, durante el periodo comprendido entre el año de 1998 y el 2007. Para ello se empleó un modelo animal mixto que incluyó los efectos fijos del grupo contemporáneo (finca-sexo-época-año), la composición racial, y la duración de la lactancia como covariable; así como los efectos genéticos aleatorios del animal, el medio ambiente permanente y el residual. Se obtuvieron las medias ajustadas de cada variable para cada factor, y se realizó una prueba de comparación múltiple entre ellas. Se determinó un efecto significativo del grupo contemporáneo y la composición racial sobre la expresión de cada una de las variables analizadas, a excepción del intervalo entre partos que no presentó diferencias entre los grupos genéticos evaluados. Los mayores promedios de producción de leche y peso al destete se presentaron en animales con composición racial de 25% y 100% cebú, respectivamente. Los mayores promedios de Índice de Vaca se reportaron en animales con mayor proporción de razas taurinas.

Palabras clave: producción de leche, peso al destete, intervalo entre partos, Índice de Vaca, composición racial, grupo contemporáneo, doble propósito.

2. ASSESSMENT OF PRODUCTIVE AND REPRODUCTIVE PERFORMANCE OF DUAL PURPOSE PRODUCTION SYSTEMS IN COLOMBIA

ABSTRACT

In order to characterize the behavior of milk yield, weaning weight, calving interval and cow index of bovine females in dual purpose production systems, productive and reproductive records of 1.687 mature cows registered, were studied during the period from 1998 to 2007. To do this a mixed animal model which included the fixed effects of the contemporary group (farm-sex-season-year), breed composition and lactation length as a covariate; as well as the random animal genetic effects and the permanent and residual environment was used. Adjusted means were obtained for each variable and each factor, and a multiple comparative test was done. A significant effect of contemporary group and breed composition on the expression of each of the variables analyzed was determined, except the calving interval that did not show differences between breed composition levels evaluated. The highest average milk production and weaning weight occurred in animals with racial composition 25 and 100 zebu, respectively. The highest average cow index were reported in animals with a higher proportion of taurine breeds.

Key words: milk yield, weaning weight, calving interval, cow index, breed composition, contemporary group, dual purpose.

2.1 INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina en América Latina Tropical y el Caribe se ha consolidado en los últimos años como uno de los pilares fundamentales de las políticas agrícolas y el desarrollo socio económico de los países de la región, aportando en carne y leche cerca del 20% de la proteína consumida por la población, y alrededor del 4% del PIB total de estas naciones; sin embargo, se ha estimado que del total del inventario ganadero (cerca de 330 millones de cabezas), aproximadamente el 78% se encuentra en manos de pequeños productores bajo los sistemas de producción de doble propósito (Serrano, 2009).

En el caso de Colombia, la producción vacuna tradicionalmente ha sido una de las principales actividades productivas del sector agropecuario, aportando cerca del 3,6% del PIB total, el 27% del PIB agropecuario y el 64% del PIB pecuario. Se estima que actualmente alrededor del 42% del hato nacional se maneja bajo el sistema de producción de doble propósito, el cual aporta cerca del 63% y el 50% de la leche y carne consumida en el país, respectivamente (FEDEGAN, 2006).

El incremento que viene produciéndose sistemáticamente en la utilización de sistemas de doble propósito y la reducción de las producciones especializadas en las regiones tropicales viene dado, entre otros factores, porque estos ofrecen una mayor flexibilidad para responder a las condiciones más variables del ambiente a partir de los recursos disponibles, tanto genéticos como alimenticios, logrando estructurar sistemas integrados de producción adaptados a cada agroecosistema.

El doble propósito es considerado como un sistema de producción de carne y leche basado en la unidad biológica que constituyen vaca y ternero, hasta el destete definitivo. Es un sistema apto para trópico bajo ya que se adapta a las

condiciones de alta luminosidad, oferta de forrajes de baja calidad, ciclos ambientales irregulares y extremos, condiciones sanitarias adversas, mano de obra poco calificada, poca investigación y transferencia de tecnología deficiente (Tatis y Botero, 2005); sin embargo, las hembras bovinas se caracterizan por presentar bajos índices productivos, como consecuencia de las bajas eficiencias reproductivas obtenidas bajo éstas condiciones de producción.

Uno de los parámetros que más afecta el desempeño de las hembras bovinas no solamente desde el punto de vista reproductivo sino también productivo, es el intervalo entre partos (IEP), que se considera como un indicador del costo y la ganancia marginal de una vaca por día de vida en el hato (Vite *et al.*, 2007). Los IEP en los sistemas bovinos de doble propósito del trópico generalmente son prolongados, y son consecuencia de la interacción de múltiples factores como la edad al primer parto, el grupo racial, el año y la época de parto, la nutrición, el peso al servicio, y las condiciones sanitarias desfavorables, entre otros.

Por otra parte, desde el punto de vista productivo se considera que la tendencia en la extracción de leche y carne en estos sistemas de producción, depende en gran medida de la rentabilidad y la relación costo-beneficio con respecto a la producción de terneros destetos. Fundamentalmente el manejo está basado en el amamantamiento restringido, y en el uso exclusivo de forrajes y sal mineralizada a voluntad; éste sistema se caracteriza por una reducción en el tiempo de permanencia del ternero con la vaca, dependiendo de la edad de la cría hasta el destete definitivo (Tatis y Botero, 2005).

Esta técnica no solamente aumenta la eficiencia reproductiva de la hembra al estimular el estro, sino que adicionalmente permite aprovechar la leche residual, la cual es rica en grasa y representa cerca del 15- 25% del total de la leche producida, disminuyendo a su vez la incidencia de mastitis; por su parte, en la cría se estimula el desarrollo temprano del rumen con el consumo suplementario de forraje, y se reduce la mortalidad entre otras razones, porque

los terneros no se estabulan ni se confinan y hay un buen control diario sobre ellos (Tatis, 1999; Tatis y Botero, 2005).

La evaluación y selección de hembras reproductoras al interior de las empresas ganaderas, se considera como una medida técnica y económica de mucha importancia para los productores, ya que permite la renovación de vientres dentro del hato con animales superiores, y a su vez descarta aquellos que resultan improductivos para el sistema; la evaluación de la producción total de una vaca en los sistemas doble propósito, debe tener en cuenta tanto la producción de leche por lactancia, como el peso al destete de su cría y su eficiencia reproductiva de una manera integral.

Los índices de selección son una herramienta que permite combinar en un solo estimador, varias características técnicas, productivas ó económicas de acuerdo con su nivel de importancia dentro de un sistema de producción. La Asociación Colombiana de Criadores de Ganado en Doble Propósito (ASODOBLE) junto con la colaboración de Tecnoagropecuaria Magangué, desarrolló en el año de 1984 un índice (denominado el Índice de Vaca) para la selección de hembras reproductoras, que mide la eficiencia productiva (carne y leche) y reproductiva (intervalo entre partos), como una estimación de la eficiencia producto (cría + leche) en el periodo comprendido entre dos partos (Tatis y Botero, 2005).

Este Índice se basa en la relación que desde el punto de vista biológico y económico, presentan entre sí las características de mayor relevancia dentro de los sistemas de producción animal de doble propósito, tales como la producción de leche por lactancia (Kg), el peso de la cría al destete (Kg) y el intervalo entre partos (días); de tal manera que permite comparar la eficiencia de las hembras reproductoras en igualdad de condiciones, teniendo en cuenta que si un animal es superior en una ó varias características, puede compensar el que sea inferior en otras.

Sin embargo, el desconocimiento del verdadero comportamiento productivo y reproductivo de los animales manejados bajo éstos sistemas de producción en regiones específicas del país, ha limitado el desarrollo de técnicas y metodologías adecuadas que promuevan el mejoramiento progresivo de los hatos en un marco de rentabilidad y sostenibilidad. Con base en esta necesidad, la presente investigación tuvo como objetivo determinar el comportamiento, y los factores que influyen en la expresión de la producción de leche por lactancia, el peso al destete, el intervalo entre partos y el Índice de Vaca, de las hembras bovinas manejadas en los sistemas de producción de doble propósito en los Departamentos del Atlántico, Bolívar y Córdoba durante la última década.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1 Localización. La información empleada para el desarrollo del presente estudio, correspondiente a los registros productivos y reproductivos de las hembras bovinas manejadas en los sistemas doble propósito de los departamentos del Atlántico, Bolívar y Córdoba, fue suministrada por la Asociación Colombiana de Criadores de Ganado en Doble Propósito (ASODOBLE).

Se estima que una gran parte de la costa norte colombiana, incluyendo las zonas analizadas en esta investigación, pertenecen al ecosistema de bosque seco tropical (BsT), el cual se caracteriza por presentar precipitaciones pluviales entre 1.000 y 2.000 mm/año; sin embargo, las lluvias tienen una mala distribución debido a la incidencia de un periodo de sequía de aproximadamente 5 meses. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 25°C y los 30°C, con la influencia de los vientos alisios del noreste y el desplazamiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), presentando humedades relativas del orden del 84% en promedio (IGAC, 2006).

Buena parte de estas tierras son aptas para el desarrollo de la agricultura y la ganadería, a pesar del predominio de suelos ácidos (pH 5,0 en promedio) en la gran mayoría de la región, y a los problemas físicos de compactación que se presentan debido al inadecuado laboreo agrícola y al sobrepastoreo, lo cual dificulta en gran medida la penetración de las raíces y el drenaje; adicionalmente, se caracterizan por poseer bajos contenidos de materia orgánica (2% en promedio), y por presentar deficiencias de elementos menores como cobre, zinc, boro, cobalto, hierro y manganeso (Tatis y Botero, 2005).

2.2.2 Descripción de los datos. Para la evaluación y caracterización de la producción de leche por lactancia, el peso de las crías al destete, el intervalo entre partos y el Índice de Vaca de las hembras bovinas manejadas en estos sistemas de producción, se tomaron los registros productivos y reproductivos de 14.268 vacas adultas pertenecientes a 15 fincas ubicadas en los departamentos del Atlántico, Bolívar y Córdoba; ésta información fue suministrada mediante bases de datos originales creadas en cada una de las empresas ganaderas, a través del Software +Ganadero TP V. 8.0 ®², para un periodo consecutivo de 10 años comprendido entre el año de 1998 y el 2007.

Inicialmente, se estructuró un sistema de información central en el programa Microsoft Excel a partir de la exportación de toda la información contenida en el software para cada una de las fincas y cada uno de los animales en estudio, correspondiente a: código de la finca, número de identificación del animal, número de identificación del padre, fecha de nacimiento, raza, edad al primer parto (d), fecha, número y época de parto, intervalo entre partos (d), duración de lactancia (d), producción de leche por lactancia (Kg), sexo de la cría, peso (Kg) y edad al destete (d), índice de vaca y factor divisor de lactancia empleado en éste.

² Herramienta diseñada por USATI LTDA., para el registro de la información productiva, reproductiva, sanitaria, técnica, análisis y planeación de las empresas ganaderas.

Posteriormente, se realizó un proceso de edición y depuración de la información recolectada, teniendo en cuenta únicamente los registros productivos y reproductivos generados a partir del año de 1998 (no se tuvieron en cuenta reportes anteriores), y que estuvieran actualizados hasta el 31 de diciembre de 2007; adicionalmente, las hembras debían contar con toda la información completa por lactancia, y con mínimo dos lactancias, con el fin de generar fuentes de variación para los análisis estadísticos posteriores.

De esta manera, se obtuvieron un total de 5.259 registros para cada una de las cuatro características evaluadas, correspondientes a 1.687 vacas adultas ubicadas en 10 fincas de la región, ya que después del proceso de edición fue necesario excluir de los análisis a cinco de ellas por presentar menos de diez animales aptos para el estudio.

2.2.3 Análisis de datos. Para el desarrollo de los análisis estadísticos, se tuvo en cuenta la metodología del modelo animal; ésta considera que la expresión fenotípica de cualquier característica de tipo productivo, reproductivo, de calidad ó conformación del animal, está dada tanto por la influencia de los genes y combinaciones genéticas propias de cada individuo, como por el efecto de los factores de entorno a los que se encuentran sometidos los animales al interior de los diferentes sistemas de producción.

En el estudio se consideró que dentro de los factores medio ambientales que influyen en la expresión de los rasgos evaluados en los sistemas de producción de doble propósito, se encuentran: la procedencia ó zona de influencia del animal expresada a través de la finca, el grupo genético ó raza del animal, la época, el número y año de parto, la duración de la lactancia, el sexo de la cría y la edad al destete; debido a que las épocas de parto no se encontraban especificadas en las bases de datos originales, se procedió a generar la información teniendo en cuenta la distribución de las lluvias reportada para la región por Botero *et al.* (2006): invierno (abril-noviembre), verano (diciembre-marzo).

Adicionalmente, fue necesario reagrupar la información de la raza ó grupo genético de los animales debido a su amplia variabilidad, de acuerdo con el porcentaje de contribución de los diferentes grupos genéticos de tipo cebuino en la composición racial (Tabla 1).

Tabla 1. Conformación de grupos genéticos con base en la composición racial del animal.

Grupo	Contribución <i>Bos Indicus</i> (%)	Contribución <i>Bos Taurus</i> (%)
1	0	100
2	25	75
3	50	50
4	75	25
5	100	0
6		Criollo*
7		Mestizo**

* >75% de contribución de razas criollas.

**Composición genética registrada como indeterminada.

Es importante aclarar que tanto la producción de leche por lactancia, como el peso al destete no fueron previamente ajustados por ningún factor, ya que en la Asociación se considera que en estos sistemas de producción las vacas generalmente no completan la lactancia por destetar con un mejor peso al ternero, ó viceversa; así que fue necesario incluir en los modelos animales los efectos directos de la duración de lactancia y la edad al destete. Sin embargo, por disposiciones técnicas de la Asociación se determinó que éstos dos factores son equivalentes, asumiendo que la vaca deja de producir leche tan pronto se desteta la cría; de tal manera que se decidió trabajar en los análisis únicamente con la duración de la lactancia, ya que se consideró de mayor importancia en la expresión de la mayoría de las características analizadas.

2.2.4 Análisis estadístico. De acuerdo con la metodología del modelo animal anteriormente mencionada, fue necesaria la conformación de grupos contemporáneos, los cuales son entendidos como el agrupamiento de animales evaluados en una misma época, en el mismo año, pertenecientes a una misma región, del mismo sexo, de una misma finca ó con un determinado nivel de

manejo, entre otros; para la presente investigación la generación de los grupos contemporáneos incluyó los efectos de la finca (10), el sexo de la cría (hembra-macho), la época (invierno-verano) y el año de parto (10) para todas las variables analizadas, teniendo en cuenta que tanto la producción de leche, como el peso al destete y el intervalo entre partos, confluyen finalmente en la expresión del Índice de Vaca.

Adicionalmente, se generaron intervalos de confianza del 95% (± 2 desviaciones estándar) para cada una de las variables cuantitativas analizadas con el objetivo de eliminar valores extremos en cada una de ellas, empleando el procedimiento MEANS del programa estadístico SAS 9.0 (SAS, 2007).

Para la estimación de los efectos de tipo no genético (efectos fijos) que influyeron significativamente en la expresión de la producción de leche por lactancia, el peso de las crías al destete, el intervalo entre partos y el Índice de Vaca del recurso animal disponible en estos sistemas de producción, se empleó un modelo animal mixto a través del procedimiento MIXED de SAS 9.0 (SAS, 2007), que incluyó como efectos fijos el grupo contemporáneo, la composición racial del animal, y la duración de la lactancia empleada como covariable; y como efectos aleatorios el efecto genético del animal, el ambiente permanente y el residual (ambiente temporal). El modelo estadístico empleado es descrito de manera general de la siguiente forma:

$$Y_{ijklm} = \mu + g_i + c_j + \beta(d_{lk} - \bar{d}) + a_l + p_m + e_{ijklm}$$

donde,

Y_{ijklm} = PL, PD, IEP ó IV

μ = media poblacional.

g_i = efecto fijo del i-ésimo grupo contemporáneo, i: 1,...,400.

c_j = efecto fijo de la j-ésima composición racial, j: 1,...,7.

β = coeficiente de regresión de la duración de lactancia.

$(d_{lk} - \bar{d})$ = efecto de la duración de lactancia k en el animal l.

a_l = efecto genético aleatorio del l-ésimo animal, l: 1,...,1687.

p_m = efecto aleatorio del entorno permanente.

e_{ijklm} = efecto residual.

Finalmente, se estimaron las medias ajustadas por mínimos cuadrados con sus respectivos errores estándar para los efectos fijos que influyeron en la expresión de cada una de las variables objeto de estudio, a través de la aplicación LSMEANS de SAS 9.0 (SAS, 2007); y se realizó una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, para determinar las diferencias presentes entre los diferentes niveles de cada uno de éstos factores.

2.3 RESULTADOS

2.3.1 Intervalo entre partos. En el presente estudio se determinó que dentro de los factores de tipo no genético que influyeron significativamente ($P < 0,05$) en el intervalo entre partos de las hembras evaluadas en éstos sistemas de producción, se encuentra el grupo contemporáneo, el cual para esta investigación, expresa los efectos y las interacciones presentes entre factores como la zona de procedencia del animal, el año, la época de parto, y el sexo de la cría.

Sin embargo, no se encontró un efecto significativo del grupo racial sobre la expresión de ésta característica en la población evaluada ($P > 0,05$); ni tampoco diferencias significativas entre las medias ajustadas para los diferentes niveles de composición racial analizados (Tabla 2).

Tabla 2. Promedios ajustados de intervalo entre partos (d), de acuerdo con la composición racial del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.

Nivel	Número de observaciones	Media*	Error estándar
0% cebuino	66	426,43 ^a	9,20
25% cebuino	554	426,82 ^a	4,95
50% cebuino	3158	429,63 ^a	4,25
75% cebuino	383	424,91 ^a	5,40

Tabla 2. (Continuación)

Nivel	Número de observaciones	Media*	Error estándar
100% cebuino	492	433,39 ^a	5,16
Criollo	144	433,40 ^a	7,68
Mestizo	99	435,74 ^a	10,04

*Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$, Tukey).

2.3.2 Producción de leche. En el caso de la producción de leche por lactancia también se encontró un efecto significativo ($P < 0,05$) del grupo contemporáneo, el cual incluyó los efectos y las interacciones presentes entre la zona de procedencia de la vaca (expresada a través de la finca), el sexo de la cría, el año y la época de parto.

De igual manera, se determinó un efecto significativo ($P < 0,05$) de la composición racial sobre esta característica productiva, así como diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) entre algunos de los promedios ajustados para los diferentes grupos genéticos evaluados, tales como 25% cebú - 100% cebú, 25% cebú - mestizo, y 50 % cebú – 100% cebú (Tabla 3); en donde los animales con una menor proporción de genes cebuinos (0% cebú y 25% cebú), demostraron los mejores promedios de producción (1.371 y 1.374 Kg respectivamente). Por el contrario, los animales con una composición racial del 100% cebú ó mestizo, fueron quienes presentaron los promedios más bajos de producción (1.297 y 1.253 Kg respectivamente).

Tabla 3. Promedios ajustados de producción de leche por lactancia (Kg), de acuerdo con la composición racial del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.

Nivel	Número de observaciones	Media*	Error estándar
0% cebuino	65	1371,18 ^{abc}	51,98
25% cebuino	565	1374,21 ^b	27,99
50% cebuino	3134	1350,43 ^{bc}	24,16
75% cebuino	345	1345,32 ^{abc}	31,20

Tabla 3. (Continuación)

Nivel	Número de observaciones	Media*	Error estándar
100% cebuino	509	1296,72 ^a	28,88
Criollo	148	1356,76 ^{abc}	41,99
Mestizo	97	1252,74 ^{ac}	55,19

*Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$, Tukey).

2.3.3 Peso al destete. Adicionalmente, se determinó un efecto significativo ($P < 0,05$) del grupo contemporáneo y del tipo racial sobre la expresión fenotípica del peso al destete; así como diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) entre los promedios ajustados de ésta característica para los diferentes grupos genéticos evaluados (Tabla 4).

Tabla 4. Promedios ajustados de peso de las crías al destete (Kg), de acuerdo con la composición racial del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.

Nivel	Número de observaciones	Media*	Error estándar
0% cebuino	63	154,33 ^{ab}	3,31
25% cebuino	564	154,39 ^b	1,31
50% cebuino	3135	155,25 ^b	0,88
75% cebuino	392	152,35 ^b	1,55
100% cebuino	490	159,08 ^a	1,41
Criollo	147	157,55 ^{ab}	2,59
Mestizo	98	150,05 ^b	3,60

*Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$, Tukey).

2.3.4 Índice de Vaca. Con respecto a los factores que influyeron en la expresión del Índice de Vaca, se encontró un efecto significativo ($P < 0,05$) tanto del grupo contemporáneo como de la composición racial. Así como diferencias significativas ($P < 0,05$) entre las medias ajustadas para los diferentes grupos genéticos evaluados (Tabla 5); en donde las hembras con composición racial de 0% y 25% cebú, presentaron los mejores comportamientos.

Tabla 5. Promedios ajustados de Índice de Vaca, de acuerdo con la composición racial del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.

Nivel	Número de observaciones	Media*	Error estándar
0% cebuino	67	112,84 ^{ac}	3,82
25% cebuino	574	111,10 ^c	2,18
50% cebuino	3259	109,81 ^{bcd}	1,93
75% cebuino	403	106,04 ^{ae}	2,35
100% cebuino	513	106,97 ^{af}	2,25
Criollo	148	109,49 ^{abc}	3,15
Mestizo	99	102,38 ^{bef}	4,02

*Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes ($P < 0,05$, Tukey).

2.4 DISCUSIÓN

2.4.1 Intervalo entre partos. Los sistemas de producción de doble propósito del trópico bajo colombiano, se caracterizan por presentar bajos índices reproductivos (intervalos entre partos que superan los 495 días, días secos mayores a 130, tasas de natalidad inferiores al 65%, entre otros) como consecuencia de las condiciones ambientales adversas a las que se ven sometidas las hembras bovinas durante las diferentes épocas del año (Tatis y Botero, 2005); dentro de los factores que determinan fundamentalmente éste comportamiento deficiente se encuentran los intervalos entre parto prolongados, que involucran el desarrollo de los principales procesos del ciclo reproductivo, tales como el retorno al estro, la concepción y la gestación.

Los intervalos entre partos prolongados son consecuencia de la interacción de múltiples factores genéticos y ambientales que condicionan su expresión en el animal. Al igual que los resultados encontrados en la presente investigación, varios estudios desarrollados a nivel latinoamericano en condiciones de trópico húmedo y subhúmedo, han documentado ampliamente la importancia que tienen factores como el grupo racial (Salgado *et al.*, 2002; Osorio y Segura, 2006), el año de parto (Carrión *et al.*, 2002; Vergara *et al.*, 2007), la época de

parto (Salgado *et al.*, 2002; López y Vaccaro, 2002) y el sexo de la cría (Magaña *et al.*, 2002; Vergara *et al.*, 2007), sobre el comportamiento reproductivo de los bovinos manejados tanto en los sistemas de producción de doble propósito, como en el los sistemas de producción de carne en éstas regiones.

La influencia de los factores medio ambientales sobre el intervalo entre partos, está dada entre otros aspectos por el efecto del fotoperiodo (Salgado *et al.*, 2002), ya que en los meses de la época seca los días son más largos que en la época lluviosa; de igual manera la estacionalidad condiciona la disponibilidad y calidad del forraje, así como las precipitaciones, y la incidencia de algunas plagas y enfermedades (Magaña y Segura, 1998, 2001; Carrión *et al.*, 2002; Salgado *et al.*, 2002). Adicionalmente, se considera que las diferencias que se presentan en el manejo reproductivo de los hatos, principalmente en lo relacionado con las prácticas de detección de calores y técnicas de inseminación artificial, influyen negativamente en el comportamiento de ésta característica.

Por otra parte, el efecto no significativo de la composición racial sobre el intervalo entre partos reportado en el presente estudio, reafirma el supuesto de que las características de tipo reproductivo generalmente presentan bajos índices de herencia, y se encuentran más estrechamente relacionados con factores de tipo medio ambiental que condicionan su expresión.

Estos resultados son similares a los reportados por Salgado *et al.* (2002), Vergara *et al.* (2007) y Osorio y Segura (2006), en estudios desarrollados en los departamentos de Córdoba, Bolívar, y en el trópico subhúmedo de México respectivamente; en los que no se encontraron efectos significativos del grupo racial sobre características reproductivas como intervalo entre partos y días abiertos, debido entre otros aspectos a las interacciones genético - ambientales existentes.

Sin embargo, en estudios desarrollados en regiones tropicales en México (Magaña *et al.*, 2002; Vite *et al.*, 2007) y Venezuela (López y Vaccaro, 2002; Ramírez, 2008), se obtuvieron diferencias significativas entre razas y composiciones raciales, con una gran contradicción en los resultados, pues mientras que en unos se favorece la proporción de razas taurinas hasta en un 50%, en otros se dan ventajas comparativas a la mayor proporción de genes cebuínos y criollos, las cuales son atribuidas a su mayor adaptación al medio; esto indica que son múltiples los factores que afectan la reproducción de las hembras bovinas en los trópicos, y que la estimación de la variación existente en estas características se hace cada vez más compleja.

2.4.2 Producción de leche. De otro lado, se considera que el nivel de producción de leche por lactancia tanto en sistemas doble propósito como en lechería especializada, también se encuentra afectado por diversos factores de tipo no genético, como la época de parto (Contreras *et al.*, 2002; Osorio y Segura, 2005), y el año de parto (López y Vaccaro, 2002; Osorio y Segura, 2005), entre otros.

El efecto significativo del grupo contemporáneo sobre la producción de leche por lactancia reportado en la presente investigación, se explica en gran medida por las diferencias que existen en el suministro de cantidad y calidad de forraje, condiciones climáticas (a pesar de que se trate de ambientes tropicales), y por la tendencia productiva (carne ó leche) de cada una de las empresas ganaderas, a través del tiempo.

Generalmente, el efecto de estos factores y sus interacciones resulta difícil de explicar debido a los efectos confundidos que pueden presentarse entre ellos, pero es fundamental su inclusión en los modelos estadísticos para poder remover las variaciones existentes, y así poder obtener estimadores más precisos de los factores de interés (Osorio y Segura, 2005).

Los resultados obtenidos en el presente estudio, concuerdan con los reportados por Aranguren *et al.* (1994), Chirinos *et al.* (1995), Acosta *et al.* (1998) y López y Vaccaro (2002) en el trópico venezolano, y por Osorio y Segura (2005) en el trópico húmedo de México; en los que se evaluó la producción de leche por lactancia de animales puros y cruzados, de acuerdo con la proporción genética taurina y cebuína. En contraste, en los estudios desarrollados por Osorio y Segura (2006) y por Vite *et al.* (2007) en el trópico mexicano, no se encontró un efecto significativo de este factor sobre la producción láctea de animales mestizos, lo cual fue atribuido parcialmente a la influencia de genotipos indeterminados en la composición racial de los grupos genéticos evaluados.

El mejor comportamiento productivo de los animales con una representación importante de razas taurinas, ha sido compartido en la mayoría de los estudios desarrollados en regiones tropicales (Aranguren *et al.*, 1994; Chirinos *et al.*, 1995; Acosta *et al.*, 1998; Cipagauta *et al.*, 2001; Osorio y Segura, 2005), en los que generalmente las vacas con mayor proporción *Bos taurus* (hasta en un 75%), presentan un mejor potencial lechero con respecto a los grupos genéticos con alta composición *Bos indicus*, quienes a pesar de mostrar una mejor adaptación y resistencia al medio, se caracterizan por presentar bajas producciones de leche y lactancias cortas.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que los animales con mayor proporción de razas lecheras europeas en su composición racial, presentan limitaciones importantes de adaptación a las condiciones medio ambientales de los trópicos, y que generalmente requieren de un manejo diferencial en cuanto a suplementación y modificación del entorno, que garantice su buen funcionamiento fisiológico y productivo.

2.4.3 Peso al destete. Por otra parte, se considera que el peso de las crías al destete en la selección de hembras reproductoras, es una característica de gran importancia en los sistemas de producción animal de doble propósito, ya

que es un indicador tanto de la producción de leche de la vaca, como de la habilidad en la crianza de terneros, y en una menor escala, de las diferencias en las capacidades de desarrollo de los mismos (Ossa y Manrique, 1998; Ossa *et al.*, 2005; Quintero *et al.*, 2007).

De acuerdo con varios estudios desarrollados en sistemas de producción de carne y de doble propósito, las características relacionadas con la supervivencia y el crecimiento de las crías después del parto, tales como la supervivencia perinatal, el peso al nacimiento, el peso al destete, y el porcentaje de terneros destetos, son afectadas por factores genéticos (raza de los progenitores y grado de heterosis de la cría) y ambientales, como la edad de la vaca al parto (Martínez *et al.*, 1998; Rodríguez *et al.*, 2009), el año y la época de parto (Colburn *et al.*, 1999; Martínez *et al.*, 2008) y el sexo de las crías (Ossa *et al.*, 2005; Cienfuegos *et al.*, 2006), entre otros.

Los resultados obtenidos en la presente investigación en cuanto al efecto significativo del grupo contemporáneo sobre el peso al destete, se relacionan fundamentalmente con la variación a través de los años en la disponibilidad de forraje, diferencias en la constitución de los hatos, ocurrencia de enfermedades e infestación por parásitos, además del mayor potencial de los machos para ganar peso con respecto a las hembras, entre otros.

Por su parte, el efecto significativo de la composición racial obtenido para esta característica productiva en este estudio, concuerda con los resultados obtenidos en ganado criollo y mestizo por Cipagauta *et al.* (2001) y Ossa *et al.* (2005) en los departamentos de Caquetá y Córdoba respectivamente, y con los reportes realizados por Osorio y Segura (2006) en el trópico húmedo de México, y por Cienfuegos *et al.* (2006) en Chile en razas de ganado puro y sus cruces.

Específicamente, éstas diferencias se presentaron entre el grupo genético con composición racial de 100% cebú, y los animales cuya proporción varía entre el 25%, 50% y 75% de razas cebuínas, ó mestizos; siendo este genotipo el que presentó los mejores promedios de peso al destete en sus crías, junto con los animales criollos. Este comportamiento se explica en gran parte, por la mayor adaptabilidad y resistencia que generalmente caracteriza a éstos grupos raciales en las zonas tropicales (tanto madres, como crías), ya que son menos susceptibles a la infestación por plagas, parásitos y enfermedades, y adicionalmente son menos exigentes en las condiciones de manejo y disponibilidad de alimento de buena calidad.

Estas afirmaciones han sido compartidas entre otros autores por Plasse *et al.* (1997), en un estudio desarrollado para evaluar el comportamiento productivo de ganado criollo y cebú mestizo en Bolivia, en el que se concluye que el peso al destete producido por vaca, es un indicador muy apropiado para comparar grupos raciales, ya que es una característica compuesta que refleja tanto la eficiencia reproductiva y habilidad materna de la vaca, como el potencial para crecimiento y sobrevivencia del becerro; el análisis determinó que las hembras con una composición entre 50% y 80% de razas cebuínas, fueron quienes presentaron los mejores pesos al destete en sus becerros, con una superioridad promedio de 20% por encima del ganado criollo.

2.4.4 Índice de Vaca. En el caso del Índice de Vaca, entendido como una medida de la eficiencia productiva y reproductiva de las hembras bovinas en éstos sistemas de producción, el efecto significativo del grupo contemporáneo obtenido para la población analizada, se atribuye a las diferencias que se presentaron a través de los años en el entorno de los animales, para cada una de las variables incluidas en el Índice tal y como se ha mencionado anteriormente en cada una de ellas.

Con respecto a las diferencias encontradas entre los niveles de composición racial, y de acuerdo con los resultados obtenidos en cada una de las variables analizadas de forma independiente, se puede afirmar que la superioridad en el Índice de Vaca expresada por los grupos genéticos con composición racial de 0% y 25% cebú, se debe en gran parte a la mayor producción de leche obtenida por lactancia, y no al aporte realizado por las demás características involucradas en el índice (peso al destete e intervalo entre partos), ya que estas no presentaron grandes variaciones entre los diferentes tipos raciales evaluados.

2.5 CONCLUSIONES

Se determinó un efecto significativo del grupo contemporáneo sobre cada una de las características productivas y reproductivas analizadas, lo cual expresa la influencia de las variaciones que se presentan a través del tiempo en el entorno de producción de los hatos bovinos manejados en éstos sistemas de producción.

El grado de contribución de grupos genéticos cebuínos en la composición racial de las hembras evaluadas, influyó en la expresión de la producción de leche por lactancia, el peso de las crías al destete y el índice de vaca, mientras que no afectó significativamente el comportamiento del intervalo entre partos; esto apoya la premisa de que las características de tipo reproductivo dependen en su mayor proporción del manejo técnico y alimenticio que se brinde a éstos animales, así como de las condiciones de entorno a las cuales se someten.

Con respecto al comportamiento de los diferentes niveles de composición racial analizados, se concluye que a pesar de que los mejores promedios de producción de leche por lactancia se presentaron en las vacas con mayor proporción de genes *Bos taurus*, su bajo nivel de adaptación y resistencia a los medios característicos de las regiones tropicales, les exige mejores condiciones de alimentación para que logren expresar con éxito su potencial.

En contraste, los mayores promedios de peso al destete se presentaron en los animales criollos y con mayor proporción de genes cebuínos (100%), lo cual se atribuye en parte a la predisposición genética de estos grupos raciales para alcanzar mejores ganancias de peso, y a su vez, a la mejor adaptación al medio de las madres que les permite llegar con una mejor condición corporal al parto, mantenerse durante la lactancia, y destetar con un mayor peso a sus crías.

Por otra parte, a pesar de que el Índice de Vaca representa una medida integral del comportamiento productivo y reproductivo de los animales evaluados, la superioridad expresada en ésta variable por los grupos genéticos con mayor contribución de genes taurinos, fue determinada en gran parte por las mayores producciones de leche aportadas, y no por la contribución del peso al destete y el intervalo entre partos en los que presentaron diferencias mínimas entre grupos.

Considerando que cada combinación de genes se expresa de manera diferente de acuerdo al ambiente en el cual se desarrolla, se concluye que la decisión de mantener una composición racial determinada en un sistema bovino de doble propósito, depende tanto de la disponibilidad de recursos, como de los objetivos e intereses particulares de cada productor.

En este contexto, es importante tener en cuenta que la inclusión de razas *Bos taurus* especializadas en producción de leche, no solamente mejora los volúmenes de producción del hato y la duración de la lactancia, sino que además favorece la disminución de los días secos y el intervalo entre partos; sin embargo, se recomienda que su nivel de inclusión no supere el 50% ó 75%, con el fin de que no se vea afectada la adaptación de los animales manejados en éstas regiones tropicales.

2.6 BIBLIOGRAFÍA

Serrano GE. Mejoramiento de la eficiencia y rentabilidad de Sistemas de Producción bovinos de Doble Propósito con la aplicación de herramientas administrativas y tecnológicas - Estudio de caso. I congreso internacional de bovinos en doble propósito trópico alto, medio y bajo; 2009 May 25-27; Cartagena de Indias, Colombia.

FEDEGAN. Plan estratégico de la ganadería colombiana 2019. 1 ed. Bogotá, Colombia: Ed. Federan; 2006.

Tatis RE y Botero LM. Génesis y consolidación del sistema vacuno en doble propósito. Bogotá, Colombia: Ed. Produmedios; 2005.

Vite C, López R, García JG, Ramírez R, Ruiz A y López R. Producción de leche y comportamiento reproductivo de vacas de doble propósito que consumen forrajes tropicales y concentrados. Vet. Méx. 2007; 38 (1): 63-79.

Tatis RE. Fundamentos y técnicas para la selección de ganados manejados en el sistema de doble propósito. 1 ed. Cartagena de Indias, Colombia: Ed. USATI; 1999.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Colombia). Caracterización geográfica de los departamentos de Colombia [en línea] 2006. Disponible en: URL: <http://www.igac.gov.co>.

Botero L, Botero P y Botero A. Trashumancia: Historia de hombres, reses y ríos. Sucre, Colombia: Ed. Universidad de Sucre; 2006.

Statistical Analysis Systems [programa de ordenador]. Version 9.0. Statistical Analysis System Institute. Statistics. Cary, NC.; 2007.

Salgado R, Cury A, Ruiz R y Álvarez J. Evaluación del comportamiento reproductivo postparto, influido por la época del año y la raza en bovinos bajo el sistema doble propósito. Rev. MVZ Córdoba. 2002; 7 (1): 152-156.

Osorio MM y Segura JC. Relación entre peso corporal, reproducción y producción de leche de vacas cruzadas en un sistema de doble propósito en el trópico húmedo de México. Liv. Res. Rur. Dev. 2006; 18 (12).

Carrión A, Colmenares O, Herrera P, Birbe B y Martínez N. Factores que afectan el intervalo entre partos en un rebaño cebuino en condiciones de sabanas bien drenadas. Rev. Cien. FCV-LUZ. 2002; Vol. XII (2): 449-451.

Vergara O, Salgado R, Maza L, Botero L, Martínez C, Medina C y Pestana J. Factores que afectan el primer intervalo de parto de hembras bovinas manejadas bajo el sistema doble propósito. Liv. Res. Rur. Dev. 2007; 19 (10).

López J y Vaccaro L. Comportamiento productivo de cruces Holstein Friesian-cebú comparados con Pardo Suizo- cebú en sistemas de doble propósito en tres zonas de Venezuela. *Zoot. Trop.* 2002; 20 (3): 397- 414.

Magaña JG, Delgado R y Segura JC. Factores ambientales y genéticos que influyen en el intervalo entre partos y el peso al nacer del ganado Cebú en el sureste de México. *Rev. Cub. Cienc. Agric.* 2002; 36 (4): 317-322.

Magaña JG y Segura JC. Factores ambientales y genéticos que afectan el comportamiento predestete e intervalo entre partos del ganado *Bos indicus* en el sureste de México. *Rev. Cub. Cienc. Agric.* 1998; 32: 337.

Magaña JG y Segura JC. Estimates of breed and heterosis effects for some reproductive traits of Brown Swiss and Zebu-related breeds in South-eastern Mexico. *Liv. Res. Rur. Dev.* 2001; 13 (5).

Ramírez LN. Factores que afectan el periodo vacio en vacas Carora y Mestizas. *Mundo Pecuario.* 2008; IV (3): 130-144.

Contreras GE, Zambrano SA, Pirela MF, Abreu O y Cañas H. Factores que afectan la producción de leche en vacas mestizas Criollo Limonero x Holstein. *Rev. Cien. FCV-LUZ.* 2002; Vol. XII (1): 15-18.

Osorio MM y Segura JC. Factores que afectan la curva de lactancia de vacas *Bos taurus x Bos indicus* en un sistema de doble propósito en el trópico húmedo de Tabasco, México. *Tec. Pecu. Mex.* 2005; 43 (1): 127-137.

Aranguren JA, González C, Madrid N y Ríos J. Comportamiento productivo de vacas mestizas 5/8 Holstein, 5/8 Pardo Suizo y 5/8 Brahman. *Rev. Cien. FCV-LUZ.* 1994; Vol. IV (2): 99-106.

Chirinos Z, Rincón E, Morillo F, González C y Sandoval L. Evaluación de bovinos mestizos en la región El Laberinto, Estado Zulia. Comportamiento productivo. *Rev. Fac. Agron.* 1995; 12: 373-391.

Acosta J, Padrón S, Pereira N, Rincón E, Chirinos Z, Villalobos R y Marín D. Producción de leche de ganado mestizo en una zona de bosque seco tropical. *Rev. Cien. FCV-LUZ.* 1998; Vol. VIII (2): 99-104.

Cipagauta M, Ossa G y Hernández C. Comportamiento productivo de cruces *Bos taurus x Bos indicus* en un proceso de mejoramiento genético con bovinos doble propósito del Piedemonte Caqueteño. Bogotá, Colombia: Ed. Produmedios; 2001.

Ossa G y Manrique C. Programa Nacional de Mejoramiento Genético en ganado bovino de carne. *Rev. El Cebú.* 1998; 302: Mayo-Junio.

Ossa G, Suarez M y Pérez J. Efectos del medio y la herencia sobre el peso al destete de terneros de la raza Romosinuano. Rev. MVZ Córdoba. 2005; 10 (2).

Quintero JC, Triana JG, Quijano JH y Arboleda E. Influencia de la inclusión del efecto materno en la estimación de parámetros genéticos del peso al destete en un hato de ganado de carne. Rev. Col. Cienc. Pec. 2007; 20: 117- 123.

Martínez G, Petrocinio J y Herrera P. Factores que afectan el peso al nacer en un rebaño de bovinos de carne en condiciones de sabanas bien drenadas. Rev. Fac. Agron. 1998; 15: 446-454.

Rodríguez Y, Martínez G y Galíndez R. Factores no genéticos que afectan el peso al nacer en vacunos Brahman registrados. Zoot. Trop. 2009; 27 (2): 163-173.

Colburn D, Deutscher G y Olson P. Las temperaturas invernales pueden afectar el peso de los terneros al nacer. 1999. Oeste Ganadero, 1(4):23-24. Disponible en: URL: <http://www.produccion-animal.com.ar>

Martínez JC, Azuara A, Hernández J, Parra GM y Castillo SP. Características pre-destete de bovinos Simmental (*Bos Taurus*) y sus cruces con Brahman (*Bos indicus*) en el trópico mexicano. Rev. Col. Cienc. Pec. 2008; 21:365-371.

Cienfuegos EG, De Orúe MA, Briones M y Martínez JC. Estimación del comportamiento productivo y parámetros genéticos de características predestete en bovinos de carne (*Bos taurus*) y sus cruces, VIII Región, Chile. Arch. Med. Vet. 2006; 38 (1): 69-75.

Plasse D, Galdo E, Bauer B y Verde O. Cruzamiento de absorción de Criollo hacia Cebú en el Beni, Bolivia. 2. Porcentajes de preñez y destete y peso destetado por vaca. Rev. Fac. Agron. 1997; 14: 551- 559.

3. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS PARA CARACTERÍSTICAS PRODUCTIVAS Y REPRODUCTIVAS EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCION DE BOVINOS EN DOBLE PROPÓSITO EN COLOMBIA

RESUMEN

Se determinaron los componentes de varianza, heredabilidades, repetibilidades y correlaciones genéticas y fenotípicas de la producción de leche (PL), peso al destete (PD), intervalo entre partos (IEP) e índice de vaca (IV), de 1.687 vacas adultas en los sistemas de doble propósito del trópico bajo colombiano. Se empleó un modelo animal mixto que incluyó los efectos genéticos aleatorios del animal, el medio ambiente permanente y el residual, así como los efectos fijos del grupo contemporáneo (finca-sexo-época-año), la composición racial, y la duración de la lactancia como covariable. Las heredabilidades estimadas para el IEP y PD fueron bajas ($0,04 \pm 0,06$ y $0,11 \pm 0,06$, respectivamente), mientras que para PL e IV fueron moderadas ($0,35 \pm 0,06$ y $0,24 \pm 0,06$, respectivamente). Las repetibilidades estimadas fueron bajas y moderadas ($0,08 \pm 0,01$, $0,41 \pm 0,01$, $0,31 \pm 0,02$) para las características de IEP, PL e IV, respectivamente; y para el PD fue igual a la heredabilidad. Las correlaciones genéticas y fenotípicas obtenidas entre PL y PD con IEP fueron positivas, y se encontró una asociación genética negativa entre PL y PD; se determinó que las correlaciones del IV con las demás variables, dependen de su contribución dentro del índice.

Palabras clave: heredabilidad, repetibilidad, correlación, producción de leche, peso al destete, intervalo entre partos, índice de vaca, doble propósito.

3. ESTIMATION OF GENETIC PARAMETERS FOR PRODUCTIVE AND REPRODUCTIVE TRAITS IN DUAL PURPOSE PRODUCTION SYSTEMS IN COLOMBIA

ABSTRACT

Variance components, heritabilities, repeatabilities and genetic and phenotypic correlations of milk yield (MY), weaning weight (WW), calving interval (CI) and cow index (IV) of 1.687 mature cows in dual purpose systems in Colombian low tropic were determined. A mixed animal model that included the random animal genetic effects, permanent and residual environmental, and fixed effects on the contemporary group (farm-sex-season-year), breed composition and lactation length as a covariate, was used. The estimated heritabilities for the CI and WW were low ($0,04 \pm 0,06$ and $0,11 \pm 0,06$, respectively), whereas MY and IV were moderate ($0,35 \pm 0,06$ and $0,24 \pm 0,06$, respectively). The estimated repeatabilities were low to moderate ($0,08 \pm 0,01$, $0,41 \pm 0,01$, $0,31 \pm 0,02$) for CI, MY and IV, respectively; and for the WW was equal to the heritability. The genetic and phenotypic correlations obtained between MY and WW with CI were positive, and found a negative genetic association between MY and WW; it was determined that the correlations of IV with the other variables, depend on their contribution in the index.

Key words: heritability, repeatability, correlation, milk yield, weaning weight, calving interval, cow index, dual purpose.

3.1 INTRODUCCIÓN

En la ganadería tropical coexisten múltiples sistemas de producción en diferentes pisos térmicos, distintos grados de intensificación y ubicados en ambientes socioeconómicos de muy diversa naturaleza, en los que la producción sostenible y competitiva de proteína de origen animal, es posible en gran medida gracias al uso de razas adaptadas a las condiciones climáticas características de cada región.

Uno de ellos es el sistema de producción de doble propósito, el cual ha sido de gran importancia en el desarrollo actual de las ganaderías de las regiones tropicales debido, entre otros aspectos, a que los altos requerimientos técnicos y económicos que demandan el desarrollo de razas y sistemas especializados para la producción de leche, han llevado a que se desarrollen diversas alternativas de producción que permitan optimizar las explotaciones ganaderas, a través de la utilización racional de los recursos propios de cada zona, y bajo la consideración de las características socioeconómicas de éstas regiones.

El doble propósito es definido como un sistema de manejo en el que se producen simultáneamente y en forma rentable, carne y leche en una misma explotación bovina, considerando que la vaca y su cría constituyen una unidad biológica y natural de producción durante el periodo de lactancia (Tatis y Botero, 2005); se caracteriza por la presencia de pequeños y medianos productores, frecuentemente ubicados en áreas de producción marginales con recursos productivos limitados.

En Colombia la producción de carne y leche se sustenta básicamente en este tipo de explotaciones, las cuales comprenden aproximadamente el 42% del total del inventario ganadero nacional, contribuyendo con cerca del 63% de la

leche y el 50% de los terneros de levante y ceba que proporcionan la carne a los mercados nacionales (FEDEGAN, 2006).

En la Región Caribe colombiana, estos sistemas de producción se caracterizan por presentar bajos índices productivos y reproductivos: intervalos entre partos prolongados (> 495 días), tasas de natalidad menores al 65%, días secos por encima de 130 y producciones de leche de 1.000 Lt por lactancia, entre otros (Tatis y Botero, 2005), los cuales ha sido atribuidos en parte, tanto a la implementación de planes de cruzamiento de una manera desorganizada, como al desconocimiento del verdadero potencial de los recursos animales y vegetales con los que cuenta cada zona. Esto se ha visto representado en el aumento progresivo de los costos de producción, por el mantenimiento de un gran número de animales improductivos que perturban la economía del sector al crear la necesidad de importar material genético.

En este contexto, se hace evidente la necesidad de evaluar e identificar genéticamente el recurso animal disponible en éstos sistemas de producción, lo cual es posible gracias a la implementación de los programas de mejoramiento genético animal; éstos se constituyen como una herramienta práctica y esencial que permite, mediante la aplicación de principios biológicos, económicos y matemáticos, encontrar las estrategias óptimas para el aprovechamiento de la variación genética existente en una especie de animales en particular, mediante el establecimiento de planes de apareamiento con animales superiores que garanticen el progreso genético a través del tiempo (González, 2001).

El mejoramiento genético animal involucra procesos tanto de evaluación genética, como de difusión del material genético seleccionado, en la cual se pueden emplear las diferentes tecnologías reproductivas desarrolladas tales como la Inseminación Artificial, la Ovulación Múltiple, la Transferencia Embrionaria, la Fertilización *in vitro* y el uso de Marcadores de ADN entre otras (Cordovi *et al.*, 1983; Solarte, 1992; Montaldo y Barria, 1998).

El propósito de cualquier procedimiento de evaluación genética animal, es determinar la proporción de la variación de una característica que es debida al efecto de la genética, teniendo en cuenta que la expresión de una característica depende no solamente del efecto de la genética del recurso animal disponible, sino también del efecto de los factores de carácter no genético (medio ambiente) a los cuales son sometidos los animales. Esto se logra a través de la expresión de la información contenida en los registros de los animales ó de las progenies, mediante parámetros que reflejan su merito genético para una característica determinada; los parámetros genéticos básicos con los cuales se establecen los programas de mejoramiento animal en cualquier sistema de producción son: la heredabilidad, la repetibilidad y las correlaciones genéticas.

Dentro de los parámetros genéticos a ser estimados en una población de animales explotados zootécnicamente, la heredabilidad (h^2) se constituye como el parámetro básico para la selección, puesto que determina la cantidad de la variación total encontrada en una característica que es debida al efecto de los genes (variación aditiva), es decir a la herencia (Dalton, 1980; Ruales *et al.*, 2007).

Por otra parte, la variación de la producción para varios registros de los individuos en una misma población, puede ser dividida según Falconer (1981) en dos componentes: un componente dentro de individuos, el cual es completamente ambiental en su origen y es causado por diferencias del ambiente temporal entre registros sucesivos, y un componente entre individuos, el cual es parcialmente genético y ambiental, siendo éste último causado por circunstancias que afectan al individuo permanentemente. De esta manera la repetibilidad (R), como parámetro genético, puede ser definida como la correlación que existe entre las medidas repetibles de una misma característica en un mismo individuo, y es entendida como la proporción de la varianza fenotípica total, que es debida a la varianza genética más la varianza ambiental

permanente (Quijano y Montoya, 1998; Ossa y Manrique, 1999; Ruales *et al.*, 2007).

Adicionalmente, en la mayoría de los sistemas productivos los programas de mejoramiento animal buscan mejorar más de una sola característica a la vez; sin embargo, la selección para un carácter casi siempre produce cambios en otros. Esto se conoce como respuesta correlacionada (r), y es definida como el cambio en una característica que no está siendo seleccionada, como respuesta de la selección sobre otra característica. La magnitud de esta respuesta depende entre otras cosas de la correlación genética y fenotípica entre los dos caracteres, dada tanto por el grado en que éstos están determinados por los mismos genes, como por la contribución de elementos comunes del medio ambiente (Falconer, 1981; Ruales *et al.*, 2007).

Con base en los argumentos anteriormente expuestos, el desarrollo de una metodología de evaluación genética ajustada a las condiciones locales de producción y a las necesidades de nuestra industria ganadera, que permita identificar y clasificar las diferentes fuentes de material genético disponibles en los sistemas de producción bovinos de doble propósito del país, es fundamental en el proceso de consolidación del sector en el mercado nacional e internacional en un marco de eficiencia y competitividad.

El presente estudio se desarrolló con el objetivo de estimar los diferentes componentes de varianza y parámetros genéticos (heredabilidades y repetibilidades), de algunas de las características de mayor importancia económica y productiva dentro de los sistemas bovinos de doble propósito: la producción de leche por lactancia, el peso al destete, el intervalo entre partos, y adicionalmente para el Índice de Vaca, el cual ha sido uno de los criterios utilizados por excelencia para la selección de hembras reproductoras a nivel de la Asociación Colombiana de Criadores de Ganado en Doble Propósito (ASODOBLE) en el país. Se estimaron además las correlaciones genéticas y fenotípicas presentes entre dichas características para el ganado bovino

registrado en ésta asociación, durante el periodo comprendido entre el año de 1998 y el 2007.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Localización. Los datos que se utilizaron en esta investigación provienen de los registros productivos y reproductivos de las hembras bovinas reportadas en la Asociación Colombiana de Criadores de Ganado en Doble Propósito (ASODOBLE), en los Departamentos del Atlántico, Bolívar y Córdoba.

El Departamento del Atlántico está situado en el norte del territorio nacional, en la región Caribe, y se encuentra localizado entre los 10°15'36" y 11° 06'37" de latitud norte y los 74°42'47" y 75°16'34" de longitud oeste, a una altura de 5 m.s.n.m. De acuerdo a sus condiciones climáticas se ubica en la zona de vida de Bosque Seco Tropical (BsT). La temperatura media anual es de 27°C, con medias máximas registradas de 29,9°C y mínimas de 25°C entre octubre y noviembre. Los vientos de mayor influencia en el clima son los alisios del noreste, con dirección dominante norte y muy intensos en febrero y marzo. El nivel de precipitaciones aumenta de norte a sur, desde 700 mm en Barranquilla hasta 1.300 mm en Santa Lucía, con niveles promedio de humedad relativa de 80% (IGAC, 2006).

Por su parte el Departamento de Bolívar se encuentra en la región de la llanura del Caribe, localizado entre los 07°00'03" y los 10°48'37" de latitud norte y entre los 73°45'15" y los 75°42'18" de longitud oeste, a una altura de 2 m.s.n.m., en la zona de vida de Bosque Seco Tropical (BsT). Las temperaturas varían entre 26 y 30°C, con lluvias que van desde los 800 mm anuales en el norte, y los 2.800 mm en la serranía de San Lucas; las lluvias están influenciadas por la acción de los vientos alisios del noreste y por el desplazamiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), presentando una humedad relativa promedio de 87% (IGAC, 2006).

El Departamento de Córdoba se encuentra localizado en el norte del país, en la región de la llanura del Caribe, entre los 09°26'16" y 07°22'05" de latitud norte y los 74°47'43" y 76°30'01" de longitud oeste, a una altura de 18 m.s.n.m., en zonas de vida de Bosque Seco Tropical (BsT) y Bosque Húmedo Tropical (BhT). El clima es cálido con temperaturas promedio de 28°C, humedad relativa de 85% y promedios de precipitación media anual que van desde los 1.000mm en el bajo sinú, hasta los 4.000 mm al sur del departamento (IGAC, 2006).

3.2.2 Descripción de los datos. Para la estimación de los componentes de varianza, parámetros genéticos (heredabilidades y repetibilidades), y correlaciones genéticas y fenotípicas de las características: producción de leche por lactancia, peso al destete, intervalo entre partos e Índice de Vaca, se tomaron los registros productivos y reproductivos de 14.268 vacas adultas manejadas bajo el sistema de producción de doble propósito, distribuidas en 15 fincas de los departamentos del Atlántico, Bolívar y Córdoba, información que fue suministrada por la Asociación Colombiana de Criadores de Ganado en Doble Propósito (ASODOBLE), a través de las bases de datos originales creadas en el Software +Ganadero TP V. 8.0 ³, para un periodo consecutivo de 10 años comprendido entre el año de 1998 y el 2007.

Con las bases de datos reportadas, se estructuró un sistema de información central en hojas de cálculo del programa Microsoft Excel, a partir de la exportación de toda la información contenida en el software para cada una de los animales en estudio, correspondiente a: código de la finca, número de identificación del animal, número de identificación del padre, fecha de nacimiento, raza, edad al primer parto (d), fecha, número y época de parto, intervalo entre partos (d), duración de lactancia (d), producción de leche por lactancia (Kg), sexo de la cría, peso (Kg) y edad al destete (d), índice de vaca y factor divisor de lactancia empleado en éste.

³ Herramienta diseñada por USATI LTDA., para el registro de la información productiva, reproductiva, sanitaria, técnica, análisis y planeación de las empresas ganaderas.

El proceso de edición y depuración general de la información se realizó teniendo en cuenta que los animales contaran con registros productivos y reproductivos generados a partir del año de 1998 (no se tuvieron en cuenta reportes anteriores), y que estuvieran actualizados hasta el 31 de diciembre de 2007; adicionalmente, que tuvieran toda la información completa por lactancia y que contaran como mínimo con dos lactancias, con el fin de generar fuentes de variación para los análisis estadísticos posteriores. De esta manera, se obtuvieron un total de 5.259 registros para cada una de las cuatro características evaluadas, correspondientes a 1.687 vacas adultas ubicadas en 10 fincas de la Región Caribe Colombiana, ya que después del proceso de edición fue necesario excluir de los análisis a cinco de ellas por presentar menos de diez animales aptos para el estudio.

3.2.3 Análisis de datos. Como se había mencionado anteriormente, la expresión fenotípica de cualquier característica ya sea de tipo productivo, reproductivo, de conformación ó de calidad, está dada tanto por el efecto de los genes y combinaciones genéticas propias de cada individuo, como por el efecto de los factores del medio ambiente de los animales al interior de cualquier sistema de producción.

Para la presente investigación, se consideró que dentro de los factores de tipo no genético que influyeron significativamente en la expresión de las características evaluadas en los sistemas de producción de doble propósito, se encuentran: la procedencia ó zona de influencia del animal expresada a través de la finca, el grupo genético ó raza del animal, la época, el número y el año de parto, la duración de la lactancia, el sexo de la cría y la edad al destete. Con base en esto, y para efecto de los análisis estadísticos posteriores, se procedió a generar la información relacionada con las épocas de parto (que no se encontraba específicamente en las bases de datos originales), y a reagrupar el factor de raza del animal que presentaba una amplia variabilidad.

Las épocas de parto fueron asignadas teniendo en cuenta que el periodo lluvioso en la región generalmente se extiende entre los meses de abril y noviembre, con las más altas precipitaciones en los meses de mayo a julio, y veranos intensos entre los meses de diciembre y marzo (Botero *et al.*, 2006). De otro lado, para el efecto de la raza ó grupo genético, fue necesario generar siete categorías de acuerdo con el porcentaje de contribución de los diferentes grupos genéticos de tipo cebuino, en la composición racial de los animales (Tabla 6).

Tabla 6. Conformación de grupos genéticos con base en la composición racial del animal.

Grupo	Contribución <i>Bos Indicus</i> (%)	Contribución <i>Bos Taurus</i> (%)
1	0	100
2	25	75
3	50	50
4	75	25
5	100	0
6		Criollo*
7		Mestizo**

* >75% de contribución de razas criollas.

** Composición genética registrada como indeterminada.

Adicionalmente, es importante tener en cuenta que tanto la producción de leche por lactancia, como el peso al destete no fueron previamente ajustados por ningún factor, ya que según ASODOBLE en éste tipo de sistemas de producción es común que las vacas no completen la lactancia por destetar con un mejor peso al ternero, ó viceversa. Así que fue necesario incluir de manera directa los efectos tanto de la duración de la lactancia de la vaca, como de la edad de la cría al destete; sin embargo, por disposición de la Asociación estos dos factores se consideran equivalentes, asumiendo que la vaca deja de producir leche tan pronto se desteta la cría. Por este motivo se decidió trabajar en los análisis únicamente con la duración de lactancia, ya que se consideró que es de mayor trascendencia en la expresión de la mayoría de las características objeto de estudio.

3.2.4 Análisis estadístico. Con el objetivo de eliminar valores extremos en cada una de las variables cuantitativas analizadas, se generaron intervalos de confianza del 95% (± 2 desviaciones estándar) a través de un análisis de estadística descriptiva, obtenido con el procedimiento MEANS de SAS 9.0 (SAS, 2007). Para la estimación de los componentes de varianza, parámetros genéticos (heredabilidades y repetibilidades), y correlaciones genéticas y fenotípicas de las características de producción de leche por lactancia, peso al destete, intervalo entre partos e Índice de Vaca, se empleó un modelo mixto basado en la metodología del Modelo Animal.

Este modelo tiene la habilidad de combinar las mejores características de las técnicas del índice de selección y los mínimos cuadrados, incluyendo tanto los efectos fijos (factores de entorno), como los efectos aleatorios (genética) que influyen en la expresión de una característica determinada, para brindar estimadores confiables e insesgados del mérito genético de un animal (Henderson, 1974).

La metodología precisa la conformación de grupos contemporáneos, entendidos como el agrupamiento de animales evaluados en una misma época, en el mismo año, pertenecientes a una misma región, del mismo sexo, de una misma finca ó con un determinado nivel de manejo, entre otros; para la presente investigación la generación de los grupos contemporáneos incluyó los efectos de la finca (10), el sexo de la cría (hembra- macho), la época (invierno-verano) y el año de parto (10) para todas las variables analizadas, teniendo en cuenta que tanto la producción de leche, como el peso al destete y el intervalo entre partos, confluyen finalmente en la expresión del Índice de Vaca.

Los componentes de varianza requeridos para la estimación de los parámetros genéticos y las correlaciones genéticas y fenotípicas de las características evaluadas, fueron obtenidos con el método de máxima verosimilitud restringida (Montoya, 1996), empleando el procedimiento MIXED del programa estadístico SAS 9.0. (SAS, 2007). Los modelos mixtos incluyeron los efectos fijos del

grupo contemporáneo, la composición racial, y la duración de la lactancia empleada como covariable; como efectos aleatorios fueron incluidos el efecto genético del animal, el ambiente permanente y el residual (ambiente temporal). El modelo estadístico empleado es descrito de manera general de la siguiente forma:

$$Y_{ijklm} = \mu + g_i + c_j + \beta(d_{lk} - \bar{d}) + a_l + p_m + e_{ijklm}$$

donde,

Y_{ijklm} = PL, PD, IEP ó IV

μ = media poblacional.

g_i = efecto fijo del i-ésimo grupo contemporáneo, $i: 1, \dots, 400$.

c_j = efecto fijo de la j-ésima composición racial, $j: 1, \dots, 7$.

β = coeficiente de regresión de la duración de lactancia.

$(d_{lk} - \bar{d})$ = efecto de la duración de lactancia k en el animal l .

a_l = efecto genético aleatorio del l-ésimo animal, $l: 1, \dots, 1687$.

p_m = efecto aleatorio del entorno permanente.

e_{ijklm} = efecto residual.

Con los componentes de varianza genéticos y ambientales obtenidos para cada una de las características analizadas, se estimaron las heredabilidades y repetibilidades correspondientes, entendidas como la fracción de la varianza fenotípica total que es debida a la variación genética del animal (varianza aditiva más no aditiva), y la proporción de la varianza fenotípica total entre registros sucesivos, que es debida a la varianza genética más la varianza ambiental permanente, respectivamente (Vanegas, 1994; Montoya, 1996; Ruales *et al.*, 2007).

Adicionalmente, con los componentes de varianza obtenidos tanto para las características analizadas, como para la sumatoria de cada par de variables correlacionadas, se obtuvieron las covarianzas y correlaciones genéticas y fenotípicas existentes, a través de la siguiente fórmula:

donde,

$r_{x,y}$ = correlación genética ó fenotípica entre dos características X y Y.

$C_{x,y}$ = covarianza genética ó fenotípica entre dos características X y Y.

V_x = varianza genética ó fenotípica de la característica X.

V_y = varianza genética ó fenotípica de la característica Y.

Los errores estándar de las estimaciones realizadas fueron obtenidos de acuerdo a las metodologías descritas por Falconer (1981) y Ruales *et al.*, (2007).

3.3. RESULTADOS

Los componentes de varianza genéticos y ambientales estimados para la producción de leche por lactancia, el peso al destete, el intervalo entre partos y el Índice de Vaca se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Componentes de varianza estimados para las características productivas y reproductivas del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.

Variable	Componentes de Varianza				
	Animal	Entorno Permanente	Residual	Genético	Fenotípico
Intervalo entre partos	265,83	119,94	3025,31	145,89	3291,14
Producción de leche	28789	4142,29	40660	24646,71	69449
Peso al destete	52,54	0	411,96	52,54	464,50
Índice de vaca	123,33	29,40	272,40	93,93	395,73

Por su parte, en la Tabla 8 se presentan los estimadores de heredabilidad y repetibilidad obtenidos a partir de éstos análisis de variación para las cuatro características incluidas en el estudio; mientras que en la Tabla 9 se presentan

las correlaciones genéticas (arriba de la diagonal) y fenotípicas (abajo de la diagonal) presentes entre ellas para la población analizada.

Tabla 8. Heredabilidades (h^2) y repetibilidades (R) estimadas para las características productivas y reproductivas del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.

Variable	h^2	R
Intervalo entre partos	0,04 ± 0,06	0,08 ± 0,01
Producción de leche	0,35 ± 0,06	0,41 ± 0,01
Peso al destete	0,11 ± 0,06	0,11 ± 0,01
Índice de vaca	0,24 ± 0,06	0,31 ± 0,02

Tabla 9. Correlaciones genéticas y fenotípicas estimadas para las características productivas y reproductivas del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.

Variable	Intervalo entre partos	Producción de leche	Peso al destete	Índice de vaca
Intervalo entre partos		0,53 ± 0,02	0,22 ± 0,02	0,09 ± 0,02
Producción de leche	0,04 ± 0,02		-0,12 ± 0,02	0,80 ± 0,01
Peso al destete	0,08 ± 0,02	0,02 ± 0,02		0,11 ± 0,02
Índice de vaca	-0,49 ± 0,02	0,68 ± 0,02	0,24 ± 0,02	

3.4 DISCUSIÓN

3.4.1 Intervalo entre Partos.

3.4.1.1 Heredabilidad. El estimador de heredabilidad para el intervalo entre partos obtenido en este estudio fue bajo (0,04 ± 0,06), lo cual indica que esta característica depende en su gran mayoría (96%) del efecto de otras variables

de tipo medio ambiental, y en menor medida de las posibles variaciones genéticas existentes entre animales, por lo que se esperaría poco progreso genético a través del tiempo. Estas estimaciones se encuentran dentro de los rangos de heredabilidad reportados por otros autores para características reproductivas (Casas y Tewolde, 2001; Ríos y Calderón, 2008; Montes *et al.*, 2009), en trabajos desarrollados en condiciones tropicales y subtropicales para ganado criollo y especializado, en los que se confirma que las características relacionadas con la eficiencia reproductiva presentan bajos grados de herencia, y son consideradas de manera general como componentes de manejo del sistema de producción, en asociación con el estrés climático al que deben ser sometidos los animales.

Estimadores de heredabilidad baja también han sido reportados en trabajos desarrollados en condiciones metodológicamente similares a las del presente estudio, en climas templados por Kadarmideen *et al.* (2000), Veerkamp *et al.* (2001) y Haile-Mariam *et al.* (2003), así como en algunos trabajos desarrollados en Kenia por Ojango and Pollott (2001) y Amimo *et al.* (2006) en ganado Holstein y Ayrshire especializado, en los que la heredabilidad para el intervalo entre partos no supera el 5%, lo cual indica que la respuesta a la selección para esta característica reproductiva sería muy baja en un programa de mejoramiento genético.

En este contexto, se sugiere que el mejoramiento para esta característica debería realizarse a través de la implementación de programas de cruzamiento, que permitan explotar el vigor híbrido existente entre las diferentes razas bovinas, aprovechando la resistencia, fertilidad y longevidad del ganado cebú y el criollo, así como el potencial de producción de carne y leche del ganado europeo. Adicionalmente, a través de la optimización de las condiciones de alimentación, sanidad, manejo reproductivo y decisiones administrativas al interior de cada empresa ganadera, con el objeto de que las vacas se recuperen rápidamente del parto y de los primeros meses de lactancia.

3.4.1.2 Repetibilidad. La repetibilidad obtenida en el presente estudio para el intervalo entre partos es considerada baja ($0,08 \pm 0,01$); resultados similares fueron obtenidos por Casas y Tewolde (2001) en ganado criollo en Costa Rica (0,07), y por Amimo *et al.* (2006) en vacas Ayrshire en Kenia (0,09), mientras que algunos autores como Pryce *et al.* (1997), Kadarmideen *et al.* (2000) y Ojango and Pollott (2001), señalan que este índice para una población sin selección se encuentra en un rango entre 0,03–0,06. Por otra parte, en algunos estudios anteriores realizados por Wilson and Willis (1974) e Hinojosa *et al.* (1980) en condiciones tropicales, se plantea que los rangos mínimos de este parámetro varían entre 0 y 2%, implicando que el valor real de este índice de constancia ó repetibilidad es prácticamente cero para esta característica reproductiva; por el contrario, las estimaciones de repetibilidad obtenidas por Demeke *et al.* (2004) y Ríos y Calderón (2008), son un poco mayores a la reportada en el presente trabajo con valores cercanos al 14%.

En términos generales, se considera que para las características reproductivas y específicamente para el intervalo entre partos, el rango en el cual se encuentra la repetibilidad es bajo; lo cual se debe en gran medida a que la proporción de la variación fenotípica total de la característica que es atribuida al medio ambiente permanente del animal es mínima (3,5% en el presente estudio), tal y como lo reportan Ojango and Pollott (2001) y Ríos y Calderón (2008) en sus respectivas investigaciones. Mientras que los factores relacionados con el medio ambiente temporal del animal (enfermedades parasitarias, mastitis, niveles nutricionales, entre otros), contribuyen de manera drástica en su expresión.

3.4.2 Producción de leche.

3.4.2.1 Heredabilidad. La heredabilidad estimada para la producción de leche por lactancia en este estudio fue moderada ($0,35 \pm 0,06$), similar a los resultados obtenidos en el trabajo desarrollado por Campos *et al.* (1994) en condiciones tropicales y subtropicales con ganado lechero especializado, en

donde se reportan heredabilidades para la producción total de leche de 0,34 y 0,33 para vacas Holstein y Jersey respectivamente.

De igual manera, Kadarmideen *et al.* (2000) reportaron valores de heredabilidad para producción de leche ajustada a 305 días en hembras Holstein del Reino Unido en un rango de 0,38 - 0,40; resultados que se encuentran por encima de los rangos de heredabilidad obtenidos para esta característica en la mayoría de estudios desarrollados tanto en climas tropicales y subtropicales (Barbosa y Dorenles, 2000; Nogara *et al.*, 2000; Chirinos y Márquez, 2002; Uribe y Smulders, 2004), como en climas templados (Palacios *et al.*, 2001; Dechow *et al.*, 2001; Guo *et al.*, 2002; Jacobsen *et al.*, 2002; Royal *et al.*, 2002), los cuales se encuentran entre 0,20 - 0,29; sin embargo las comparaciones directas de éstos resultados deben ser interpretadas con cautela, ya que se basan en diferentes modelos estadísticos, diferentes tamaños de muestra y poblaciones.

Por otra parte, en una investigación realizada por Ojango and Pollott (2001) con ganado Holstein en Kenia, con un tamaño de muestra y características metodológicamente similares a las del presente estudio, en la cual también se incluyó la duración de la lactancia como covariable para la producción total de leche, se determinó que la heredabilidad estimada para esta característica (0,25) fue menor que la heredabilidad obtenida ignorando la longitud de la lactancia (0,30), posiblemente debido a que su inclusión tiende a reducir las diferencias entre animales, haciendo que las vacas con bajas producciones y lactancias prolongadas se equiparen a las vacas más eficientes.

Estos indicadores de heredabilidad reportados en la literatura, y el obtenido en el presente estudio para ganado doble propósito en Colombia, demuestran que para la producción de leche existen diferencias genéticas importantes como para responder a la selección en los programas de mejoramiento genético, haciendo que el progreso genético por unidad de tiempo sea mayor que el que se podría esperar en el caso de las características reproductivas.

3.4.2.2 Repetibilidad. La repetibilidad estimada para la producción de leche por lactancia ($0,41 \pm 0,01$) fue un poco mayor que la heredabilidad, indicando que los efectos del medio ambiente permanente de la vaca no fueron tan importantes como los efectos genéticos, ya que la varianza del ambiente permanente como proporción de la varianza fenotípica fue apenas de 0,06; comportamiento que también fue reportado por Chirinos y Márquez (2002) en vacas mestizas en el trópico de Venezuela. Resultados similares de repetibilidad se obtuvieron en los trabajos desarrollados por Ojango and Pollott (2001) en Kenia con ganado Holstein (0,34), y por Pérez y Gómez (2005) en un rebaño pardo suizo en el trópico venezolano (0,42); mientras que valores de repetibilidad un poco mayores (0,50 y 0,59) fueron obtenidos en estudios con bovinos Overo Colorado en Chile, y vacas Holstein en el Reino Unido respectivamente (Kadarmideen *et al.*, 2000; Uribe y Smulders, 2004).

Teniendo en cuenta que el coeficiente de repetición estimado en este estudio para la producción de leche por lactancia fue moderado, se podría inferir que existe una correlación entre los registros sucesivos del mismo animal, lo cual desde el punto de vista práctico sería un buen indicador en las fases iniciales de los programas de selección y descarte de vacas productoras; esto, sumado a la heredabilidad moderada obtenida, y a la optimización de las condiciones de entorno de los bovinos manejados en los sistemas de producción de doble propósito, permitiría estructurar de una mejor manera los programas de mejoramiento para esta característica en el trópico bajo colombiano.

3.4.3 Peso al destete.

3.4.3.1 Heredabilidad. El estimador de heredabilidad para el peso al destete obtenido en esta investigación fue bajo ($0,11 \pm 0,06$), e indica que solamente el 11% de la variación fenotípica de la característica se debe al efecto genético de las crías, mientras que el 89% es aportado por las variaciones propias del entorno. Este resultado es superior al reportado por Arboleda *et al.* (2007) en bovinos mestizos en la Costa Norte Colombiana (0,08), pero inferior a los

valores de heredabilidad directa reportados en la mayoría de estudios desarrollados en ganado mestizo y criollo en condiciones tropicales, los cuales oscilan entre un rango de 0,17- 0,33 (Moñotti *et al.*, 2003; Rosales *et al.*, 2004; Ferraz *et al.*, 2004; Aranguren *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2006).

De acuerdo con varios estudios desarrollados en ganado mestizo y criollo en el trópico (Aranguren *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2006; Arboleda *et al.*, 2007), se afirma que existe una correlación genética negativa entre los efectos aditivos directos y maternos que afectan las características de crecimiento (peso al nacimiento, peso al destete y postdestete); esto se sustenta en el hecho de que el efecto materno es una expresión de la respuesta a la cantidad y calidad de protección que le proporciona la madre a su cría, a través de la inmunidad pasiva que ésta le transmite desde la etapa embrionaria intrauterina, pasando por las etapas fetales de gestación, hasta después del nacimiento. Sin embargo, se considera que durante el periodo postdestete éste efecto va disminuyendo, y el efecto directo de los genes que influyen sobre el crecimiento asume una importancia primaria (Cundiff, 1972; Campelo *et al.*, 2004).

Por esta razón, en la actualidad los modelos estadísticos empleados para analizar las características de crecimiento en bovinos, generalmente incluyen los efectos aditivos directos y maternos, además del efecto ambiental permanente de la vaca (Rosales *et al.*, 2004; Aranguren *et al.*, 2006; Martínez *et al.*, 2006; Arboleda *et al.*, 2007; Román *et al.*, 2007), teniendo en cuenta que el efecto materno en muchas ocasiones resulta incluso más importante que el efecto directo de los genes en las etapas tempranas del animal, en especial si los individuos lactan con sus madres como es el caso de los sistemas de producción de doble propósito; sin embargo, en la presente investigación el efecto materno no pudo ser estimado debido a que no se contaba con la información necesaria.

3.4.3.2 Repetibilidad. La repetibilidad estimada para el peso al destete, en la población analizada es considerada baja ($0,11 \pm 0,01$), y coincide con la

heredabilidad obtenida para la misma característica, ya que el efecto del medio ambiente permanente de la vaca calculado fue nulo. Este resultado es similar al reportado por Aranguren *et al.* (2006) en animales mestizos de doble propósito en el estado de Zulia (Venezuela), bajo condiciones metodológicas semejantes a las del presente estudio, en donde el efecto ambiental estimado para el peso a los 244 días fue igual a cero.

Sin embargo, se han reportado valores de éste efecto que explican cerca del 12 y 14% de la variación fenotípica total de la característica en ganado de carne Australiano y Brahman, respectivamente (Meyer *et al.*, 1993; Plasse *et al.*, 2002); aunque en ganado criollo y mestizo las estimaciones reportadas representan cerca del 3,5 – 5% de la variación total (Ferraz *et al.*, 2004; Campelo *et al.*, 2004; Martínez *et al.*, 2006). Por su parte, la repetibilidad encontrada en la presente investigación es similar a la reportada por Abdullah and Olutogun (2006) (0,15) en ganado N'Dama en el trópico húmedo de Nigeria; e inferior a los resultados obtenidos por Martínez *et al.* (2006) quienes reportaron un valor de repetibilidad para el peso al destete a los 270 días en ganado costeño con cuernos de 0,24, y Meyer *et al.* (1994) cuyos estimadores fueron de 0,35 y 0,23 en un rebaño Hereford y en la raza sintética Wokalup, respectivamente.

Debido a que el estimador de repetibilidad obtenido para el peso al destete en la población de ganado doble propósito analizada fue bajo, se puede inferir que la correlación existente entre los registros sucesivos de una misma vaca a través de los diferentes partos es mínima, y que por lo tanto éste no sería un parámetro importante a tener en cuenta dentro de los programas de mejoramiento que se encaminen a la selección de hembras para ésta característica; por otra parte, la optimización de las condiciones medio ambientales bajo las cuales se levanten las crías, al menos durante el primer año de vida, incluyendo el mejoramiento de los factores relacionados con el medio ambiente temporal de las madres (manejo alimenticio, técnico y sanitario), sí serían determinantes en la estructuración de planes futuros de

mejoramiento, teniendo en cuenta que su contribución a la variación fenotípica total de ésta característica fue drástica (89%).

3.4.4 Índice de Vaca.

3.4.4.1 Heredabilidad. Uno de los objetivos principales de este estudio fue evaluar por primera vez desde el punto de vista genético, el índice implementado desde hace más de veinte años por la Asociación Colombiana de Criadores de Ganado en Doble propósito (ASODOBLE), como método de selección de hembras reproductoras conocido como el Índice de Vaca, que combina con cierto valor relativo las características de mayor importancia productiva y reproductiva al interior de éstos sistemas de producción, tales como el intervalo entre partos y la producción de carne y leche; éste índice fue desarrollado principalmente con base en consideraciones biológicas y económicas, asumiendo que las heredabilidades de las características productivas (peso al destete y producción de leche) eran similares.

Sin embargo, en algunos trabajos desarrollados en condiciones climáticas tropicales en ganado criollo y mestizo, se ha planteado que los índices de herencia para éstas dos características difieren en cerca de un 9%, situando a la producción de leche en un rango de heredabilidad moderada (Chirinos y Márquez, 2002; Uribe y Smulders, 2004), y al peso al destete en un rango de heredabilidad baja (Martínez *et al.*, 2006; Aranguren *et al.*, 2006; Arboleda *et al.*, 2007). Adicionalmente, hasta el momento no se había realizado una valoración genética ni de las características que conforman éste índice de manera individual, ni del índice como tal, bajo las dimensiones y consideraciones manejadas en la presente investigación.

La heredabilidad estimada para el Índice de Vaca es considerada media ó moderada ($0,24 \pm 0,06$); esto indica que a pesar de que la respuesta que se podría obtener por selección con base en ésta característica no es la mejor, sí se puede considerar como un buen indicador (desde el punto de vista

genético), de la eficiencia productiva y reproductiva de los animales para la expresión de las demás características evaluadas de una manera simultánea, bajo las condiciones de los sistemas de producción de doble propósito de las regiones analizadas.

3.4.4.2 Repetibilidad. La repetibilidad obtenida para éste índice fue moderada ($0,31 \pm 0,02$), lo cual indica que existe una correlación media entre los registros sucesivos de un mismo animal para las características de intervalo entre partos, producción de leche por lactancia y peso al destete de forma simultánea. Esto se expresa a través de la alta contribución (69%) de los efectos del medio ambiente temporal en la variabilidad total de ésta característica, en contraposición con los efectos del medio ambiente permanente (7%), lo cual sugiere que es posible encontrar cierto grado de constancia entre los Índices de Vaca de las hembras evaluadas, siempre y cuando éstas se mantengan bajo condiciones medio ambientales similares a través de los diferentes partos.

3.4.5 Correlaciones genéticas y fenotípicas. La correlación genética estimada entre la producción de leche por lactancia y el intervalo entre partos en el presente estudio fue positiva y alta ($0,53 \pm 0,02$), lo cual indica que las hembras con mayores producciones de leche tienden a tener intervalos entre partos más prolongados; un resultado similar fue reportado por Kadarmideen *et al.* (2000) en un trabajo desarrollado con ganado Holstein en el Reino Unido (0,54), en el que se concluyó que el antagonismo que comúnmente se presenta entre características reproductivas tales como el intervalo entre partos, el número de servicios por concepción y la edad a la primera inseminación, con la producción de leche del ganado bovino, se debe desde el punto de vista biológico al efecto pleitrópico desfavorable que existe entre los genes responsables de la expresión de éstas características.

Éstas relaciones antagónicas presentes en animales que han sido seleccionados por altas producciones, también han sido reportadas en estudios

desarrollados tanto en ganado lechero especializado (Campos *et al.*, 1994; Ojango and Pollott, 2001) como en cruces con cebú (Osorio y Segura, 2006), en los que se afirma que el detrimento en las características asociadas a la fertilidad, se debe más a los factores de tipo medio ambiental que a los factores genéticos que influyen en la expresión de éstas características; sin embargo, esta afirmación no coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde la correlación fenotípica estimada entre el intervalo entre partos y la producción de leche por lactancia fue baja.

Desde el punto de vista fisiológico, éste efecto antagónico se puede explicar principalmente por el balance energético negativo que se presenta durante las primeras etapas de la lactancia, lo cual afecta el retorno al estro y resulta en un incremento directo del intervalo entre partos. De otro lado, se afirma que éste comportamiento se acentúa en las zonas tropicales y subtropicales, debido a las condiciones nutricionales y al estrés climático al que son sometidos los animales.

De igual manera, la relación obtenida entre el intervalo entre partos y el peso al destete desde el punto de vista genético, fue positiva y moderada en éste estudio; lo cual indica que las madres de los terneros más pesados presentan mayores intervalos entre partos, probablemente debido al efecto común de los genes que regulan la expresión de ésta característica asociado con la producción de leche, y al estrés causado por el amamantamiento.

Comportamientos similares fueron reportados en el estudio desarrollado por Osorio y Segura (2006), en cruces Holstein x Cebú y Holstein x Sahiwal en un sistema doble propósito ubicado en el trópico mexicano, en donde se señala que el peso de las crías al destete depende fundamentalmente de la duración de la lactancia de la madre, motivo por el cual éstas dos características se encuentran altamente correlacionadas entre sí, así como con la producción de leche, causando un efecto negativo sobre el intervalo entre partos. Esta premisa también ha sido presentada en trabajos desarrollados por Khan *et al.*

(1999) y Hernández *et al.* (2000) con ganado Sahiwal y cruces Holstein x Cebú, Pardo Suizo x Cebú en Pakistán y México respectivamente.

Por otra parte, la correlación genética negativa obtenida en ésta investigación entre el peso al destete y la producción de leche, expresa uno de los comportamientos más frecuentes que se presentan al interior de los sistemas doble propósito, el cual se relaciona con la limitación del total de leche producida por lactancia debido a la presencia del ternero; además, implica un posible efecto de la correlación que existe entre éstas dos características con la duración de la lactancia, la cual fue señalada y documentada anteriormente, y que en el presente estudio no se estimó ya que se asumió como covariable.

Con respecto a las correlaciones estimadas para las características productivas y reproductivas evaluadas con el respecto al Índice de Vaca, se encontró que existe una correlación fenotípica negativa y moderada de éste índice con el intervalo entre partos, generándose disminuciones progresivas del mismo a medida que se incrementan los días transcurridos entre un parto y otro, lo cual no es deseable teniendo en cuenta que el índice ideal establecido de acuerdo con las metas productivas y reproductivas de ASODOBLE es cercano a 100.

Por otra parte, las correlaciones genéticas obtenidas para las características de producción de leche por lactancia y peso del ternero al destete con respecto al Índice de Vaca, fueron consideradas positivas al incrementar el valor del índice a medida que se mejora la eficiencia para cada una de ellas por parte del animal.

3.5 CONCLUSIONES

Los parámetros genéticos (heredabilidad y repetibilidad) estimados en ésta investigación para el intervalo entre partos de la población analizada, se encuentran dentro de los rangos reportados en la literatura para características

reproductivas tanto en climas templados como tropicales, y tanto en razas especializadas como de doble propósito.

Los bajos resultados obtenidos indican que la mayor proporción de la variación fenotípica total de ésta característica es atribuida a los efectos de tipo ambiental, más que al efecto propio de los genes que regulan su expresión; de tal manera que los planes y programas que se estructuran para su mejoramiento, deben contemplar la implementación de sistemas de cruzamiento adecuados, así como la optimización de las condiciones de manejo alimenticio, reproductivo, técnico y sanitario.

Para las características productivas analizadas (producción de leche por lactancia y peso al destete), se obtuvieron estimadores de heredabilidades y repetibilidades moderadas y bajas, respectivamente; lo cual indica que en el caso de la producción de leche, se podría esperar una mejor respuesta por unidad de tiempo en los programas de mejoramiento genético que se implementen en esta población, en comparación con el peso de los terneros al destete, en cuya expresión priman los factores de tipo ambiental. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en los sistemas de producción de doble propósito, éstas dos características dependen de la duración de la lactancia de la vaca, que al no estar ajustada podría generar sesgos en la información y por lo tanto en los estimadores generados.

El Índice de Vaca empleado para la selección de hembras reproductoras en éstos sistemas de producción, presentó valores de heredabilidad y repetibilidad moderados, lo cual indica que se pueden llegar a obtener buenas respuestas por selección con base en esta característica, al ser considerada como un buen indicador (desde el punto de vista genético) de la eficiencia productiva y reproductiva de los animales para la expresión de las demás características evaluadas de una manera simultánea.

Las correlaciones genéticas y fenotípicas presentes entre las características productivas analizadas y el intervalo entre partos fueron positivas, confirmando una vez más la relación antagónica que generalmente se reporta entre ellas, debido entre otros aspectos, a la presión y el desbalance energético al cual se ve sometida la vaca durante los primeros meses de lactancia.

En el caso de la correlación genética obtenida entre la producción de leche y el peso al destete se presenta un comportamiento diferente, ya que en el caso de los sistemas de producción de doble propósito tanto la duración de la lactancia, como la presencia del ternero condicionan el volumen de producción de leche obtenido por lactancia.

Las correlaciones genéticas y fenotípicas del Índice de Vaca con respecto a las demás características involucradas, están dadas por la participación y el comportamiento de cada una de ellas dentro del índice.

En términos generales se puede concluir que los factores temporales en los sistemas de producción de doble propósito, juegan un papel fundamental en el desempeño de las características productivas y reproductivas de interés, por lo que es indispensable controlar y optimizar su manejo para permitir una mejor expresión de la genética del recurso animal propio del trópico bajo colombiano.

3.6. BIBLIOGRAFÍA

Tatis RE y Botero LM. Génesis y consolidación del sistema vacuno en doble propósito. Bogotá, Colombia: Ed. Produmedios; 2005.

FEDEGAN. Plan estratégico de la ganadería colombiana 2019. 1 ed. Bogotá, Colombia: Ed. Federan; 2006.

González A. Evaluación genética del ganado lechero. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia [en línea] 2001. Disponible en: URL: <http://www.fmvz.uat.edu.mx>.

Cordovi J, Guerra D y Méndez A. Métodos de evaluación de sementales, una visión retrospectiva. Rev. Cub. Reprod. Anim. 1983; 9: 39-50.

Solarte C. Utilización de diferentes métodos para estimar valor genético de reproductores Holstein registrados en cuatro regiones de Colombia. Tesis de grado, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia 1992.

Montaldo H y Barria N. Mejoramiento genético de animales. Revista ciencia al día [en línea] 1998. Disponible en: URL: <http://www.ciencia.cl>.

Dalton DC. Introducción a la genética animal practica. Zaragoza, España: Ed. Acribia; 1980.

Ruales FR, Manrique C y Cerón MF. Fundamentos en mejoramiento animal. 1 ed. Medellín, Colombia: Ed. L. Vieco e Hijas Ltda; 2007.

Falconer DS. Introduction to quantitative genetics. 2 ed: Longman Group Ltd; 1981.

Quijano JH y Montoya C. El modelo animal y su comparación con otras ayudas de selección, para producción de leche. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín 1998; 51(2): 51-64.

Ossa GA y Manrique C. La repetibilidad y el índice materno productivo como criterios de selección. Rev Med. Vet. Zoot.1999; 72: 7-14.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Colombia). Caracterización geográfica de los departamentos de Colombia [en línea] 2006. Disponible en: URL: <http://www.igac.gov.co>.

Botero L, Botero P y Botero A. Trashumancia: Historia de hombres, reses y ríos. Sucre, Colombia: Ed. Universidad de Sucre; 2006.

Statistical Analysis Systems [programa de ordenador]. Version 9.0. Statistical Analysis System Institute. Statistics. Cary, NC.; 2007.

Herderson CR. General flexibility of linear model techniques for sire evaluation. J, Dairy Sci 1974; 57: 963-972.

Montoya C. Estimación del valor genético para producción de leche a través de un modelo lineal mixto con repetibilidad (modelo animal). Informe final de investigación de año sabático, Facultad de Ciencias Agropecuarias; Universidad Nacional de Colombia, Medellín (Colombia) 1996.

Vanegas O. Estimación de parámetros genéticos productivos y reproductivos en ganado Normando registrado. Tesis de grado, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia; Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia) 1994.

Casas E y Tewolde A. Evaluación de características relacionadas con la eficiencia reproductiva de genotipos criollos de carne en el trópico húmedo. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 2001; 9 (2): 68-73.

Ríos A y Calderón RC. Análisis genético de la fertilidad de un hato de hembras Holstein en condiciones subtropicales. XXI Reunión Científica-Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz y I del Trópico Mexicano; 2008 Veracruz, México.

Montes D, Vergara O y Prieto E. Una nota sobre la estimación de la heredabilidad del intervalo entre partos en hembras bovinas de ganado Brahman. Liv. Res. Rur. Dev. 2009; Vol. 21, Art. 1.

Kadarmideen HN, Thompson R and Simm G. Linear and threshold model genetic parameters for disease, fertility and milk production in dairy cattle. Anim Sci. 2000; 71: 411- 419.

Veerkamp RF, Koenen EPC and De Jong G. Genetic correlations among body condition score, yield, and first-parity cows estimated by random regression models. J. Dairy Sci. 2001; 84: 2327- 2335.

Haile-Mariam M, Morton JM and Goddard ME. Estimates of genetic parameters for fertility traits of Australian Holstein- Friesian cattle. Anim. Sci. 2003; 76: 35-42.

Ojango JM and Pollott GE. Genetics of milk yield and fertility traits in Holstein-Friesian cattle on large- scale Kenyan farms. J. Anim. Sci. 2001; 79: 1742-1750.

Amimo JO, Mosi RO, Wakhungu JW, Muasya TK and Inyangala BO. Phenotypic and genetic parameters of reproductive traits for Ayrshire cattle on large-scale farms in Kenya. Liv. Res. Rur. Dev. 2006; Vol. 18, Art. 10.

Pryce JE, Veerkamp RF, Thompson R, Hill WG and Simm G. Genetic aspects of common health disorders and measures of fertility in Holstein Friesian dairy cattle. Anim. Sci. 1997; 65: 353- 360.

Wilson A and Willis MB. Comparative reproductive performance of Brahman and Santa Gertrudis cattle in a hot humid environment. II. Factors affecting calving interval. Anim. Prod. 1974; 18: 43- 48.

Hinojosa JA, Franco A y Bolio I. Factores genéticos y ambientales que afectan el intervalo entre partos en un hato comercial en un ambiente tropical subhúmedo. Prod. Anim. Trop. 1980; 5: 181- 187.

Demeke S, Naser FWC and Schoeman SJ. Estimates of genetic parameters for Boran, Friesian and crosses of Friesian and Jersey with Boran cattle in the tropical highlands of Ethiopia: reproduction traits. *J. Anim. Breed. Genet.* 2004; 121: 57- 65.

Campos MS, Wilcox CJ, Becerril CM and Diz A. Genetic parameters for yield and reproductive traits of Holstein and Jersey cattle in Florida. *J. Dairy Sci.* 1994; 77: 867- 873.

Barbosa GB y Dórenles H. Parâmetros genéticos para características produtivas em bovinos da raça holandesa no Estado de Goiás. *Rev. Brasil. de Zoot.* 2000; 2: 421-426.

Nogara PR, Da Silva R, Martínez ML, Valente J y Gadini CH. Interação genótipo – ambiente para a produção de leite em rebanhos da raça holandesa no Brasil. 2. Uso de um modelo animal. *Rev. Brasil. de Zoot.* 2000; 7: 2030-2035.

Chirinos Z y Márquez O. Parámetros genéticos para caracteres de producción de leche en vacas mestizas tropicales. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 2005; 20: 51- 60.

Uribe HA y Smulders JP. Estimación de parámetros y tendencias fenotípicas, ambientales y genéticas para características de producción de leche en bovinos overos colorados. *Arch. Med. Vet.* 2004; Vol. XXXVI N° 2: 137- 146.

Palacios A, Rodríguez F, Jiménez J, Espinoza JL y Núñez R. Evaluación genética de un hato Holstein en baja California sur, utilizando un modelo animal con mediciones repetidas. *Rev. Agrociencia* 2001; 35: 347- 353.

Dechow CD, Rogers GW and Clay JS. Heritabilities and correlations among body condition scores, production traits and reproductive performance. *J. Dairy Sci.* 2001; 84: 266-275.

Guo Z, Lund MS, Madsen P, Korsgaard I and Jensen J. Genetic parameters estimation for milk yield over multiple parities and various lengths of lactation in Danish Jerseys by random regression models. *J. Dairy Sci.* 2002; 85: 1596-1606.

Jacobsen JH, Madsen P, Jensen J, Pedersen J, Christensen LG and Sorensen DA. Genetic parameters for milk production and persistency for Danish Holsteins estimated in random regression models using REML. *J. Dairy Sci.* 2002; 85: 1607-1616.

Royal MD, Flint APF and Woolliams JA. Genetic and phenotypic relationships among endocrine and traditional fertility traits and production traits in Holstein – Friesian dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2002; 85: 958-967.

Pérez GA y Gómez MG. Factores genéticos y ambientales que afectan el comportamiento productivo de un rebaño pardo suizo en el trópico. 1. Producción de leche. Rev. Cient. abr. 2005; Vol.15 (2): 141-147.

Arboleda EM, Vergara OD y Restrepo LF. Características de crecimiento en bovino mestizos en la costa norte Colombiana. Liv. Res. Rur. Dev. 2007; Vol. 19, Art. 5.

Moñotti A, Adolfo A, López M y Solobodzian A. Parámetros genéticos y ambientales para pesos ajustados a los 570 días de edad en bovinos Nelore [en línea] 2003. Disponible en: URL: <http://www.1unne.edu.ar.pdf>.

Rosales J, Elzo MA, Montañó M, y Vega VE. Parámetros y tendencias genéticas para características de crecimiento predestete en la población mexicana de Simmental. Tec. Pecu. Mex. 2004; 42(2): 171- 180.

Ferraz PB, Ramos A, Da Silva LO, De Sousa JC and De Alencar MM. Alternative animal models to estimate heritabilities and genetic correlations between direct and maternal effects of pre and post-weaning weights of Tabapua cattle. Arch. Latin. Prod. Anim. 2004; 12 (3): 119-125.

Aranguren J, Román R, Villasmil Y, Chirinos Z, Romero J y Soto E. Componentes de (co) varianza y parámetros genéticos para características de crecimiento en animales mestizos de doble propósito. Rev. FCV-LUZ 2006; Vol. XVI (1): 55-61.

Martínez RA, Pérez JE y Herazo T. Evaluación fenotípica y genética para características de crecimiento en la raza criolla colombiana Costeño con Cuernos. Rev. Corpoica- Ciencia y Tecnología Agropecuaria 2006; 7 (2): 12-20.

Cundiff, L. The role of maternal effects in animal breeding: VII Comparative aspects of maternal effects. J. Anim. Sci. 1972; 35: 1335-1337.

Campelo J, López P, Almeida R, Campos LO, Euclides RF, De Vieira C, *et al.* Maternal effects on the genetic evaluation of Tabapuã beef cattle. Genet. and Molec. Biol. 2004; 27 (4):517-521.

Román R, Aranguren J, Villasmil Y, Yáñez LF y Soto E. Comparación de modelos para estimar parámetros genéticos de crecimiento en ganado mestizo doble propósito. Rev. Cient. ago. 2007; Vol.17 (4): 394- 404.

Meyer K, Carrick JM and Donnelly BJ. Genetic parameters for growth traits of Australian beef cattle from a multibred selection experiment. J. Anim. Sci. 1993; 71: 2614-2622.

Plasse D, Verde O, Arango J, Camaripano L, Fossi H, *et al.* (Co)variance components, genetic parameters and annual trends for calf weights in a Brahman herd kept on floodable savanna. *Genet. and Molec. Res.* 2002; 1(4): 282-297.

Abdullah AR and Olutogun O. Estimates of genetic and phenotypic parameters for preweaning growth traits of N'Dama (*Bos Taurus*) calves in the humid tropics of Nigeria. *Liv. Res. Rur. Dev.* 2006; Vol. 18 Art. 8.

Meyer K, Carrick MJ and Donnelly BJ. Genetic parameters for milk production of Australian beef cows and weaning weight of their calves. *J Anim Sci.* 1994; 72: 1155-1165.

Osorio MM y Segura JC. Relación entre peso corporal, reproducción y producción de leche de vacas cruzadas en un sistema de doble propósito en el trópico húmedo de México. *Liv. Res. Rur. Dev.* 2006; Vol. 18. Art. 12.

Khan UN, Dahlin A, Zafar AH, Saleem M, Chaudhry M A and Philipsson J. Sahiwal cattle in Pakistan: Genetic and environmental causes of variation in body weight and reproduction and their relationship to milk production. *Anim. Sci.* 1999; 68: 97-108.

Hernández E, Segura VM, Segura JC y Osorio MM. Intervalo entre partos, duración de la lactancia y producción de leche en un hato de doble propósito en el Estado de Yucatán, México [en línea] 2000. Disponible en: URL: <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2000/nov-dic/art-4.pdf>.

4. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL GENÉTICO DEL RECURSO ANIMAL DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCION DE BOVINOS EN DOBLE PROPÓSITO EN COLOMBIA

RESUMEN

Se determinaron los valores genéticos estimados (VGE) de 1.687 vacas adultas manejadas en los sistemas de producción de doble propósito del trópico bajo colombiano, para las características de producción de leche por lactancia (PL), peso al destete (PD), intervalo entre partos (IEP) e Índice de Vaca (IV). Se empleó un modelo animal mixto que incluyó los efectos fijos de la composición racial, el grupo contemporáneo (finca-sexo-época-año), y la duración de la lactancia como covariable; además de los efectos genéticos aleatorios del animal, el medio ambiente permanente y el residual. Se establecieron los rangos de variación de los VGE para cada una de las características evaluadas: PL (-530,03 a 530,99 Kg), PD (-12,74 a 12,16 Kg), IEP (-27,60 a 35,74 d), IV (-33,95 a 62,43); posteriormente, se clasificaron de acuerdo a las tasas de selección y descarte sugeridas para estos sistemas de producción. Se estimaron las tendencias genéticas para el periodo comprendido entre los años 1998 y 2003, y se consideró que a pesar del bajo progreso genético obtenido, existe una gran proporción de animales mejorantes que permitirán el desarrollo de programas de mejoramiento genético más adecuados y efectivos.

Palabras clave: valores genéticos, tendencias genéticas, producción de leche, peso al destete, intervalo entre partos, Índice de Vaca, doble propósito.

4. ESTIMATION OF THE GENETIC POTENTIAL OF DUAL PURPOSE PRODUCTION SYSTEMS IN COLOMBIA

ABSTRACT

Estimated breeding values (EBV) of 1.687 mature females of the dual purpose production systems in the Colombian low tropic, for the characteristics of milk yield (MY), weaning weigh (WW), calving interval (CI) and cow index (IV) were determined. A mixed animal model which included fixed effects of breed composition, contemporary group (farm-sex-season-year), and lactation length as a covariate, and the random animal genetic effects, permanent and residual environment was used. The ranges of variation of VGE in each of the characteristics evaluated were established: MY (-530,03 to 530,99 Kg), WW (-12,74 to 12,16 Kg), CI (-27,60 to 35,74 d), IV (-33,95 to 62,43); they were then classified according to the selection and elimination rates suggested for these production systems. Genetic trends for the period between 1998 and 2003 were estimated, and it was considered that despite the low genetic progress achieved, there is a large proportion of improver animals that will enable to carry out of genetic improvement programs more appropriated and effective.

Key words: breeding values, genetic trends, milk yield, weaning weight, calving interval, cow index, dual purpose.

4.1 INTRODUCCIÓN

El grupo de los países en vía de desarrollo al cual pertenece la gran mayoría de las regiones tropicales del mundo, se caracteriza por presentar niveles de eficiencia y productividad considerablemente bajos, especialmente si se le compara con los países desarrollados. En éstos países, la combinación de diversos factores de tipo económico, técnico y productivo, tales como las políticas agropecuarias, las condiciones climáticas adversas, la ausencia de sistemas de información organizados al interior de los distintos ejes gremiales, así como el desconocimiento y uso inadecuado de los recursos genéticos disponibles, entre otros aspectos, no solamente han limitado el desarrollo del sector pecuario en éstas regiones, sino que además han incrementado su dependencia tecnológica y económica con respecto a los países industrializados.

Por su parte, la mayor productividad alcanzada en las últimas décadas en los sistemas de producción de carne y leche en los países desarrollados, se ha dado entre otros factores gracias a la aplicación básica de la teoría de la selección formulada durante los años 30 y 40 (Ossa y Manrique, 1998; González, 2000; Morales, 2002), el desarrollo de la inseminación artificial en los años 40 y 50 (Ossa *et al.*, 1997), y la introducción de la tecnología de procesamiento automatizado de datos (Solarte, 1992; Ruiz *et al.*, 1999; Swalve, 2000), los cuales permitieron la estimación del valor genético de los animales para las diferentes características de producción, haciendo posible establecer planes de apareamiento con animales superiores que garantizaron el progreso genético a través del tiempo (Ossa *et al.*, 1997).

Uno de los componentes principales de los programas de mejoramiento animal, es la evaluación e identificación genética del recurso animal que se tiene disponible en cada uno de los sistemas de producción, con el fin de seleccionar

los mejores representantes de las características productivas y reproductivas de interés, y así poder aumentar progresivamente la frecuencia de los genes ó de las combinaciones genéticas deseables en una población.

Las evaluaciones genéticas, como su nombre lo indica, se basan en la estimación de los valores genéticos de los individuos de una población, para una ó varias características de interés ya sean productivas, reproductivas, de calidad ó de conformación, de acuerdo con la expresión fenotípica de las mismas; de tal manera que los registros, genealogías, manejo y circunstancias que rodean el comportamiento de los animales, son plasmados en modelos estadísticos, y se combinan mediante la aplicación de métodos óptimos de cálculo para generar la predicción del valor genético de los animales que participan en la evaluación (Martínez y Parra, 1994).

La metodología que en la actualidad permite realizar éste tipo de análisis es la de los Mejores Predictores Lineales Insegados (MPLI) ó BLUP, la cual es considerada como un modelo estadístico que consiste de un gran conjunto de ecuaciones simultáneas, las cuales se solucionan para dar estimadores de los efectos fijos (efectos ambientales conocidos) y aleatorios (valores genéticos) que influyen en la expresión fenotípica de una característica determinada; éste procedimiento incorpora datos de los rendimientos individuales del animal junto con aquellos datos procedentes de sus ascendientes y colaterales, teniendo en cuenta las fuentes de variación tanto genéticas como ambientales, y midiendo la tendencia genética a través del tiempo (Solarte, 1992; Quijano y Montoya, 1998; León, 1999; Cura, 2003).

De manera general, los resultados de las evaluaciones genéticas se presentan como valores genéticos estimados (VGE), y expresan la diferencia relativa (diferencia predicha) de cada uno de los individuos evaluados con respecto a la media de la población para cada una de las características evaluadas; de tal manera que éstos dependen de las frecuencias genéticas, y por lo tanto de la población en la que es realizada la comparación (Martínez *et al.*, 2006).

Desde el punto de vista práctico, a pesar del importante progreso genético que se ha reportado con la implementación de éstas metodologías de evaluación animal en los sistemas de producción de lechería especializada en países como Estados Unidos y Canadá (Stanton *et al.*, 1992; Holstein USA, 2002), en América Latina Tropical únicamente se han desarrollado algunos estudios aislados de estimación de valores genéticos para características productivas y reproductivas, sin llegar a establecerse como la base comercial de la selección de reproductores en la población bovina productora de carne y leche de éstas regiones.

Tal es el caso de países como México, Venezuela, Argentina, Cuba y Chile, en donde los avances en los programas de mejora genética animal se centran básicamente en la estimación de parámetros genéticos y fenotípicos para las diferentes características de interés económico en los sistemas de producción de carne y leche, así como en la valoración de cruzamientos para determinar la proporción óptima de inclusión de genes *Bos taurus*, y la generación de nuevos genotipos. De igual manera, en éstas regiones y con mayor énfasis en Brasil, se han desarrollado algunos estudios relacionados con la implementación de la metodología de las pruebas de progenie en ganado productor de carne, y la estimación de valores genéticos (VG), y diferencias esperadas de progenie (DEP) en la valoración de núcleos específicos de machos reproductores.

En Colombia se han desarrollado estudios aislados de mejoramiento genético, y no se llevan a cabo programas estructurales de ésta naturaleza en ninguno de los sistemas de producción bovinos de carne y leche; esto ha incidido substancialmente tanto en el desarrollo comercial y tecnológico del sector ganadero nacional, como en el grado de inclusión del mismo en el marco de la competitividad del mercado interno y externo de reproductores. Los pocos programas que se han implementado, enfatizan en las características de tipo y en la utilización de los mejores toros del mercado mundial, despreciando la relación tipo - producción y la interacción entre el genotipo y el medio ambiente (Cura, 2003).

En el marco educativo institucional, se han desarrollado algunos estudios y aproximaciones metodológicas relacionadas principalmente con la estimación de parámetros genéticos productivos y reproductivos en razas de ganado registrado en Colombia, como Normando (Vanegas, 1994) y Holstein (Solarte, 1992; Reyes, 1996; Cerón *et al.*, 2001); así como en núcleos específicos de ganado comercial, criollo y mestizo en condiciones de trópico bajo, para características de crecimiento fundamentalmente (Ossa y Manrique, 1999; Ruales, 2004; Ossa *et al.*, 2005; Martínez *et al.*, 2006; Arboleda *et al.*, 2007; Cañas *et al.*, 2008).

De igual manera, se han obtenido algunos avances en cuanto a la determinación de los factores genéticos y ambientales que influyen en la expresión de las características productivas y reproductivas tanto en ganado especializado (Cruz, 1993; Martínez, 1993), como en ganado mestizo en sistemas de producción de doble propósito (Salgado *et al.*, 2002; Vergara *et al.*, 2007). Adicionalmente, en el ámbito institucional se han desarrollado estudios más complejos que involucran la metodología de evaluación genética animal, y la estimación de valores genéticos (VG) y diferencias esperadas de progenie (DEP), en la valoración genética de las características de crecimiento en ganado Brahman registrado (ASOCEBÚ, 2006), y la valoración del potencial genético de las razas criollas colombianas (Martínez *et al.*, 2006).

De esta manera, se considera que el desarrollo de una metodología de evaluación genética ajustada a las condiciones locales de producción y a las necesidades de la industria ganadera, que permita identificar y clasificar las diferentes fuentes de material genético disponibles en cada uno de los sistemas de producción animal, es fundamental en el proceso de consolidación del sector en los mercados nacionales e internacionales en un marco de eficiencia y competitividad.

Por esta razón, la presente investigación tuvo como objetivo determinar el potencial genético de las hembras bovinas de los sistemas de producción de

doble propósito en el trópico bajo colombiano, para las características de producción de leche por lactancia, peso al destete, intervalo entre partos, e Índice de Vaca, así como las tendencias genéticas para cada una de ellas en el periodo comprendido entre el año de 1998 y el 2007.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Localización. Los datos empleados en la presente investigación, correspondientes a los registros productivos y reproductivos de las hembras bovinas manejadas en los sistemas de producción de doble propósito en los departamentos del Atlántico, Córdoba y Bolívar, fueron suministrados por la Asociación Colombiana de Criadores de Ganado en Doble Propósito (ASODOBLE).

El Departamento del Atlántico se encuentra localizado entre los 10°15'36" y 11°06'37" de latitud norte y los 74°42'47" y 75°16'34" de longitud oeste, a una altura de 5 m.s.n.m., en la zona de vida clasificada como Bosque Seco Tropical (BsT); la temperatura media anual es de 27°C, con una humedad relativa del 80% y precipitaciones de 1.000 mm en promedio. Por su parte, el Departamento de Bolívar se encuentra entre los 07°00'03" y los 10°48'37" de latitud norte y entre los 73°45'15" y los 75°42'18" de longitud oeste, a una altura de 2 m.s.n.m., en la zona de vida de Bosque Seco Tropical (BsT); las temperaturas varían entre 26 y 30°C, con precipitaciones de 1.800 mm en promedio, y una humedad relativa del 87%. El Departamento de Córdoba se encuentra entre los 09°26'16" y 07°22'05" de latitud norte y los 74°47'43" y 76°30'01" de longitud oeste, a una altura de 18 m.s.n.m., en zonas de vida de Bosque Seco Tropical (BsT) y Bosque Húmedo Tropical (BhT); con temperaturas medias de 28°C, humedad relativa de 85% y una precipitación media anual de 2.500 mm (IGAC, 2006).

De acuerdo con Tatis y Botero (2005), buena parte de las tierras de la costa norte colombiana son aptas para el desarrollo de la agricultura y la ganadería a

pesar del predominio de suelos ácidos (pH 5,0 en promedio) en la gran mayoría de la región, y a los problemas físicos de compactación que se presentan debido al inadecuado laboreo agrícola y al sobrepastoreo, lo cual dificulta en gran medida la penetración de las raíces y el drenaje; adicionalmente, se caracterizan por poseer bajos contenidos de materia orgánica (2% en promedio), y por presentar deficiencias de elementos menores como cobre, zinc, boro, cobalto, hierro y manganeso.

4.2.2 Descripción de los datos. Para la estimación de las predicciones y tendencias genéticas del recurso animal manejado en los sistemas de producción de doble propósito de la Región Caribe colombiana, para las características de: producción de leche por lactancia, peso al destete, intervalo entre partos, e Índice de Vaca, se tomaron los registros productivos y reproductivos de 14.268 vacas adultas, distribuidas en 15 fincas ubicadas en los departamentos del Atlántico, Bolívar y Córdoba; ésta información fue suministrada mediante bases de datos originales creadas en cada una de las empresas ganaderas a través del Software +Ganadero TP V. 8.0 ®⁴, para un periodo consecutivo de 10 años comprendido entre el año de 1998 y el 2007.

En la fase inicial de la investigación se estructuró un sistema de información central en el programa Microsoft Excel, a partir de la exportación de toda la información contenida en el software para cada una de las fincas y cada uno de los animales en estudio, correspondiente a: código de la finca, número de identificación del animal, número de identificación del padre, fecha de nacimiento, raza, edad al primer parto (d), fecha, número y época de parto, intervalo entre partos (d), duración de lactancia (d), producción de leche por lactancia (Kg), sexo de la cría, peso (Kg) y edad al destete (d), Índice de Vaca y factor divisor de lactancia empleado en éste.

⁴ Herramienta diseñada por USATI LTDA., para el registro de la información productiva, reproductiva, sanitaria, técnica, análisis y planeación de las empresas ganaderas.

Posteriormente, se llevó a cabo un proceso de edición y depuración general de la información, el cual se realizó teniendo en cuenta que las vacas contaran con registros productivos y reproductivos generados a partir del año de 1998 (no se tuvieron en cuenta reportes anteriores), y que estuvieran actualizados hasta el 31 de diciembre de 2007; adicionalmente, que tuvieran toda la información completa por lactancia y que contaran como mínimo con dos lactancias con el fin de generar fuentes de variación para los análisis estadísticos posteriores.

De esta manera, se obtuvieron un total de 5.259 registros para cada una de las características evaluadas, correspondientes a 1.687 vacas adultas ubicadas en 10 fincas de la región, ya que después del proceso de edición fue necesario excluir de los análisis a cinco de ellas por presentar menos de diez animales aptos para el estudio.

4.2.3 Análisis de datos. Como se ha mencionado ampliamente en capítulos anteriores, la expresión fenotípica de cualquier característica se encuentra condicionada por una serie de factores e interacciones de tipo medio ambiental, que establecen el grado de expresión del potencial genético de un animal para un rasgo determinado.

En la presente investigación se consideró que dentro de los factores de entorno que influyeron significativamente en la expresión de las características evaluadas en los sistemas de producción bovina de doble propósito, se encuentran: la procedencia ó zona de influencia del animal expresada a través de la finca, el grupo genético ó raza del animal, la época, el número y el año de parto, la duración de la lactancia, el sexo de la cría y la edad al destete; teniendo en cuenta que en las bases de datos originales no se encontraba de manera específica la información relacionada con las épocas de parto, se procedió a generar las categorías respectivas con base en la distribución de las lluvias reportada para la región por Botero *et al.* (2006): invierno (abril-noviembre), y verano (diciembre-marzo).

Adicionalmente, fue necesario reagrupar la información de la raza ó grupo genético de los animales debido a su amplia variabilidad, de acuerdo con el porcentaje de contribución de los diferentes grupos genéticos de tipo cebuíno en la composición racial (Tabla 10).

Tabla 10. Conformación de grupos genéticos con base en la composición racial del animal.

Grupo	Contribución <i>Bos Indicus</i> (%)	Contribución <i>Bos Taurus</i> (%)
1	0	100
2	25	75
3	50	50
4	75	25
5	100	0
6		Criollo*
7		Mestizo**

* >75% de contribución de razas criollas.

**Composición genética registrada como indeterminada.

Es importante tener en cuenta que tanto la producción de leche por lactancia como el peso de las crías al destete, no fueron previamente ajustados por ningún factor, ya que en ASODOBLE se considera que en éstos sistemas de producción las vacas generalmente no completan la lactancia por destetar con un mejor peso al ternero, ó viceversa; así que fue necesario incluir en los modelos animales los efectos directos de la duración de lactancia y la edad al destete. Sin embargo, por disposiciones técnicas de la Asociación se determinó que éstos dos factores son equivalentes, asumiendo que la vaca deja de producir leche tan pronto se desteta la cría; de tal manera que se decidió trabajar en los análisis únicamente con la duración de la lactancia, ya que se estimó que es de mayor importancia en la expresión de la mayoría de las características analizadas.

4.2.4 Análisis estadístico. Con el objetivo de eliminar valores extremos en cada una de las variables cuantitativas analizadas, se generaron intervalos de confianza del 95% (± 2 desviaciones estándar) a través de un análisis de estadística descriptiva, obtenido con el procedimiento MEANS de SAS 9.0

(SAS, 2007). Para la estimación de las predicciones genéticas de la producción de leche por lactancia, el peso al destete, el intervalo entre partos y el Índice de Vaca de cada una de las hembras bovinas evaluadas, se empleó un modelo mixto basado en la metodología del Modelo Animal.

La metodología precisa la conformación de grupos contemporáneos, entendidos como el agrupamiento de animales evaluados en una misma época, en el mismo año, pertenecientes a una misma región, del mismo sexo, de una misma finca ó con un determinado nivel de manejo, entre otros; para la presente investigación, la generación de los grupos contemporáneos incluyó los efectos de la finca (10), el sexo de la cría (hembra-macho), la época (invierno-verano) y el año de parto (10) para todas las variables analizadas, teniendo en cuenta que tanto la producción de leche, como el peso al destete y el intervalo entre partos, confluyen finalmente en la expresión del Índice de Vaca.

Las predicciones genéticas ó valores genéticos estimados (VGE) para el recurso animal evaluado, fueron obtenidos con el método de máxima verosimilitud restringida (Montoya, 1996) empleando el procedimiento MIXED del programa estadístico SAS 9.0. (SAS, 2007). Los modelos mixtos incluyeron los efectos fijos del grupo contemporáneo, la composición racial, y la duración de la lactancia empleada como covariable; y como efectos aleatorios el efecto genético del animal, el ambiente permanente y el residual (ambiente temporal). El modelo estadístico empleado es descrito de manera general de la siguiente forma:

$$Y_{ijklm} = \mu + g_i + c_j + \beta(d_{ik}-\bar{d}) + a_l + p_m + e_{ijklm}$$

donde,

Y_{ijklm} = PL, PD, IEP ó IV

μ = media poblacional.

g_i = efecto fijo del i-ésimo grupo contemporáneo, $i: 1, \dots, 400$.

c_j = efecto fijo de la j-ésima composición racial, $j: 1, \dots, 7$.

β = coeficiente de regresión de la duración de lactancia.

$(d_{ik}-\bar{d})$ = efecto de la duración de lactancia k en el animal I.

a_l = efecto genético aleatorio del I-ésimo animal, I: 1,...,1687.

p_m = efecto aleatorio del entorno permanente.

e_{ijklm} = efecto residual.

Las exactitudes ó niveles de confiabilidad de las estimaciones realizadas, fueron obtenidas con base en la metodología reportada por Galvis (2001). Finalmente, con los valores genéticos estimados (VGE) para cada una de las cuatro variables analizadas, se generaron las tendencias genéticas respectivas para el periodo de tiempo comprendido entre el año de 1998 y el 2003.

4.3 RESULTADOS

Los rangos de los valores genéticos estimados (VGE) ó diferencias predichas (DP) de las hembras bovinas evaluadas en éstos sistemas de producción, para las características de producción de leche por lactancia, peso al destete, intervalo entre partos, e Índice de Vaca se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Valores genéticos estimados (VGE) mínimos, máximos y exactitud de predicción (EXA), para las características productivas y reproductivas del recurso animal de los sistemas doble propósito en Colombia.

VARIABLE	MÍNIMO		MÁXIMO	
	VGE	EXA	VGE	EXA
Intervalo entre partos (d)	-27,60	0,96	35,74	0,95
Producción de leche (Kg)	-530,03	0,99	530,99	0,99
Peso al destete (Kg)	-12,74	0,94	12,16	0,94
Índice de Vaca	-33,95	0,96	62,43	0,96

Con el objetivo de clasificar las predicciones genéticas estimadas, de acuerdo a la superioridad ó inferioridad de los animales para mejorar las características evaluadas, se determinaron los límites de VGE para cada una de ellas, teniendo en cuenta las tasas mínimas de selección y descarte sugeridas por la Asociación Colombiana de Criadores de Ganado en Doble Propósito (ASODOBLE) para éstos sistemas de producción (Tatis y Botero, 2005; Tatis, 2006).

En la Tabla 12 se presentan los puntos de corte, número de animales que caen dentro del agrupamiento, y valores promedio de VGE para el 15% superior de la vacada, es decir, para los animales élite con aptitud de ser incluidos en procesos de selección y mejoramiento genético animal; mientras que en la Tabla 13 se presentan los VGE correspondientes al 10% inferior de la población, ó las posibles candidatas para ser incluidas en procesos de eliminación y descarte en éstos sistemas de producción.

Tabla 12. Valores genéticos estimados (VGE) límites, número de animales (N), VGE promedio y exactitud de predicción (EXA), para el 15% superior de la población de los sistemas doble propósito en Colombia.

VARIABLE	VGE Límite	N	VGE Promedio	EXA
Intervalo entre partos (d)	-15,22	23	-18,43	0,95
Producción de leche (Kg)	109,03	313	191,80	0,99
Peso al destete (Kg)	6,51	67	8,25	0,94
Índice de Vaca	7,88	192	14,84	0,96

Tabla 13. Valores genéticos estimados (VGE) límites, número de animales (N), VGE promedio y exactitud de predicción (EXA), para el 10% inferior de la población de los sistemas doble propósito en Colombia.

VARIABLE	VGE Límite	N	VGE Promedio	EXA
Intervalo entre partos (d)	18,83	13	22,50	0,95
Producción de leche (Kg)	-134,84	215	-220,62	0,99
Peso al destete (Kg)	-8,05	19	-9,95	0,94
Índice de Vaca	-9,74	145	-14,20	0,96

Con los valores genéticos estimados en promedio para cada grupo de hembras bovinas nacidas durante el periodo comprendido entre los años 1998 y 2003, se obtuvieron las tendencias genéticas para cada una de las características productivas y reproductivas evaluadas, las cuales se presentan en las Figuras 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

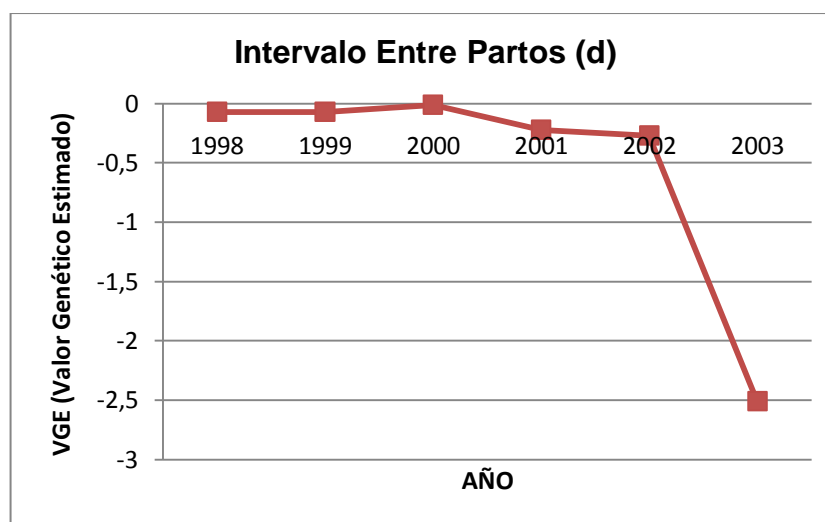


Figura 1. Tendencia genética estimada para el intervalo entre partos durante el periodo comprendido entre 1998 y 2003, en los sistemas doble propósito en Colombia.

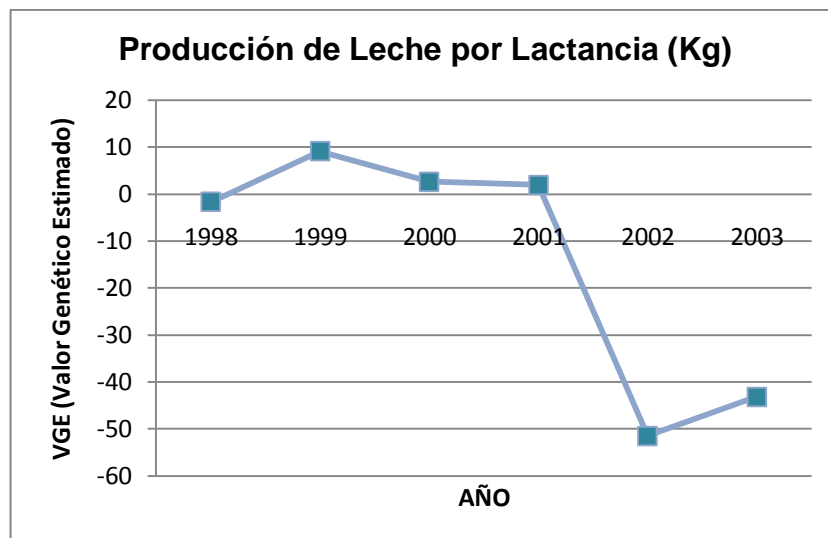


Figura 2. Tendencia genética estimada para la producción de leche por lactancia durante el periodo comprendido entre 1998 y 2003, en los sistemas doble propósito en Colombia.

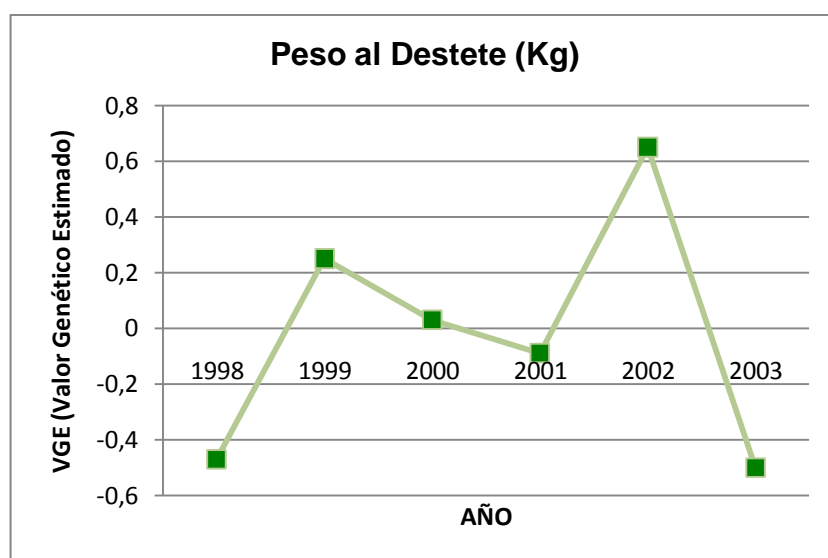


Figura 3. Tendencia genética estimada para el peso de las crías al destete durante el periodo comprendido entre 1998 y 2003, en los sistemas doble propósito en Colombia.

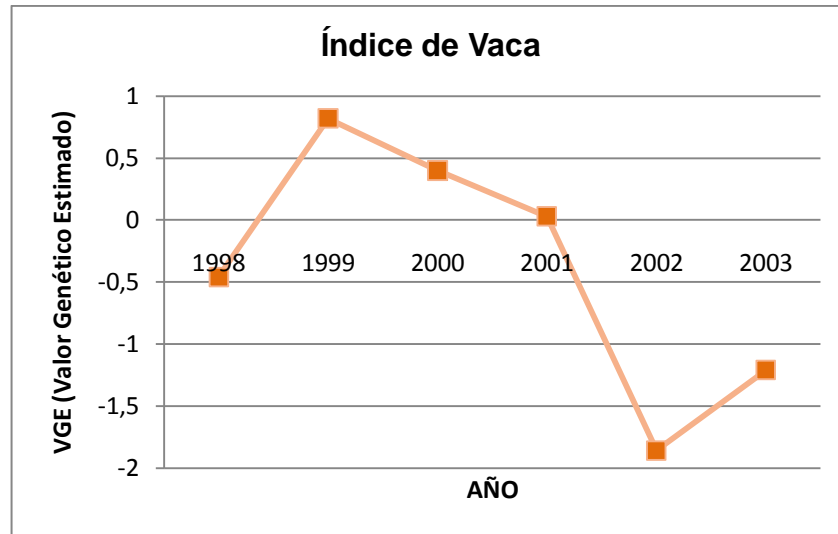


Figura 4. Tendencia genética estimada para el Índice de Vaca durante el periodo comprendido entre 1998 y 2003, en los sistemas doble propósito en Colombia.

4.4 DISCUSIÓN

Los valores genéticos estimados (VGE) de las hembras bovinas evaluadas, se expresan como desviaciones del valor genético promedio estimado para toda la población el cual se determina como cero. En el caso de la producción de leche, los VGE de las vacas variaron entre un rango de -530,03 a 530,99 Kg de leche por lactancia, lo cual indica que los animales cuyo VGE se encuentre por encima de la media (cero), serán considerados como mejorantes para ésta característica a diferencia de aquellos que se encuentren por debajo de la misma; de igual manera ocurre en el caso del peso de las crías al destete, en donde los VGE de las hembras bovinas evaluadas varió entre -12,74 y 12,16 Kg.

Con base en esto, y teniendo en cuenta que la Asociación Colombiana de Criadores de Ganado en Doble Propósito (ASODOBLE) sugiere unas tasas mínimas de selección y descarte de vientres de 15% y 10% respectivamente (Tatis y Botero, 2005; Tatis, 2006), se considera que las hembras cuyo VGE para producción de leche y peso al destete se encuentre dentro del 15%

superior de la vacada, es decir, por encima de los valores mínimos establecidos para la población (Tabla 12), serán las posibles candidatas a procesos de selección de acuerdo con la característica que se quiera mejorar dentro del sistema de producción; en el caso contrario, las vacas cuyo VGE para cualquiera de éstas dos características se encuentre dentro del 10% inferior de la vacada (Tabla 13), serán las posibles candidatas a procesos de descarte ó eliminación, ya que se considera que su potencial genético es el más bajo de toda la población.

En el caso del intervalo entre partos ocurre un comportamiento diferente, ya que al ser una característica de tipo reproductivo, se busca seleccionar los animales que presenten las mejores eficiencias reproductivas, es decir, que presenten los menores intervalos entre partos. En la presente investigación los VGE de las hembras evaluadas para ésta característica variaron entre un rango de -27,60 a 35,74 días, en donde se considera que las vacas cuyo VGE se encuentre por encima de -15,22 serán las más indicadas para ser incluidas en los programas de selección; mientras que aquellas cuyo VGE se encuentre por debajo de 18,83, podrían ser consideradas para descarte en caso de que se quiera mejorar ésta característica en los sistemas de producción analizados.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que ésta característica presenta una heredabilidad baja, y que los procesos de selección ó descarte de animales que se realicen con base en ella, deben plantearse considerando la fuerte influencia que los efectos medio ambientales ejercen en su expresión.

Por otra parte, considerando que en los programas de mejoramiento se tiene en cuenta más de una característica para la selección de los animales al interior de cualquier sistema de producción, en la presente investigación se logró determinar por primera vez desde el punto de vista genético, el verdadero potencial de las hembras evaluadas para expresar las características de producción de leche, peso al destete e intervalo entre partos de forma simultánea, a través de la valoración genética del Índice de Vaca.

Se determinó que los VGE de los animales evaluados para éste índice variaron entre -33,95 y 62,43; en donde se considera que las vacas cuyo VGE supere el valor mínimo establecido para la población (7,88), ó cuyo VGE se encuentre dentro del 10% inferior de la misma ($< -9,74$), serán las más indicadas para entrar a los programas de selección y descarte respectivamente; de igual manera, y con base en la heredabilidad media estimada en el presente estudio para ésta característica, se puede considerar al Índice de Vaca como un buen indicador genético de la eficiencia productiva y reproductiva de un animal, y por lo tanto como una herramienta sólida dentro de los programas de selección y descarte de vientres que se lleven a cabo en los sistemas de producción de doble propósito del país.

Adicionalmente, las tendencias de los VGE obtenidas en promedio para cada una de las variables analizadas durante el periodo comprendido entre el año de 1998 y el 2003, demuestran el poco progreso genético obtenido a través de los años en los sistemas doble propósito del trópico bajo.

En el caso de las características productivas (Figuras 2 y 3) y el Índice de Vaca (Figura 4), a pesar de que se presentó un comportamiento ascendente de los valores genéticos estimados hasta el año de 1999, la tendencia decreciente exhibida durante los años 2000 y 2001, señala posibles falencias en los programas de selección y descarte que se han implementado hasta el momento en éstos sistemas de producción; de otro lado, la tendencia de los VGE para el intervalo entre partos (Figura 1) fue un poco más estable entre los años 1998 y 2001, probablemente debido a que, como se había discutido previamente, la expresión de ésta característica depende en una mayor proporción de los factores de entorno propios de cada población.

Es importante tener en cuenta que los comportamientos drásticos presentados en los VGE promedio para cada una de las variables analizadas entre los años 2002 y 2003, responden en gran parte al menor número de hembras bovinas nacidas durante estos años con información suficiente para entrar en los

análisis de la presente investigación, lo cual pudo alterar la estimación de las tendencias genéticas para este periodo de tiempo.

Finalmente cabe resaltar que a pesar de la poca información que se tiene disponible, y del bajo progreso genético obtenido en los últimos años en las características productivas y reproductivas en éstos sistemas de producción, los aportes realizados en cuanto al potencial genético del recurso animal propio de los ecosistemas colombianos, permitirán la generación de herramientas más sólidas y objetivas que permitan seleccionar lo mejor de la genética disponible, y así obtener un mejoramiento progresivo de las características de interés a través del tiempo.

4.5 CONCLUSIONES

La predicción de los valores genéticos de los animales para las diferentes características productivas y reproductivas de interés en los sistemas de doble propósito, se constituye como una herramienta fundamental para el desarrollo de programas de selección y descarte con una estructura más sólida y precisa, que permitirá mejorar progresivamente los estándares productivos y los rendimientos económicos de las empresas ganaderas del trópico bajo colombiano.

Sin embargo, es importante considerar paralelamente las heredabilidades, repetibilidades y correlaciones genéticas presentes entre las características que se quieran mejorar, ya que éstas condicionan el grado de progreso genético que se pueda obtener en cada una de ellas, y a su vez determinan la necesidad de optimizar las condiciones de entorno en éstos sistemas de producción.

El comportamiento de los valores genéticos estimados, y la heredabilidad media encontrada para el Índice de Vaca, lo constituyen como una herramienta importante dentro del desarrollo e implementación de los programas de

selección en los sistemas de producción de doble propósito en Colombia, ya que se considera como un buen indicador de la eficiencia productiva y reproductiva de las hembras bovinas evaluadas, desde el punto de vista genético.

La variabilidad genética encontrada en cada una de las características productivas y reproductivas analizadas, indica que existe una buena posibilidad de seleccionar individuos mejorantes en esta población, lo cual facilita el desarrollo de programas de mejoramiento genético animal adecuados y efectivos.

Las tendencias genéticas estimadas durante el periodo comprendido entre los años de 1998 y 2003 para las características productivas y reproductivas evaluadas, indican la presencia de fallas en el desarrollo e implementación de programas de selección y mejoramiento al interior de éstos sistemas de producción, los cuales han limitado el progreso genético obtenido en cada una de ellas a través del tiempo; sin embargo, éstos comportamientos hacen evidente la necesidad de desarrollar estudios en el ámbito de la valoración genética animal, con un mayor volumen de información y durante periodos de tiempo más prolongados, que permitan determinar con mayor exactitud y confiabilidad la situación actual de los sistemas de producción de doble propósito del país.

A pesar de que la valoración genética de hembras no se realiza de manera convencional en la mayoría de sistemas de producción animal, sí reviste una gran importancia en los sistemas de doble propósito, en los que la vaca se constituye como la unidad fundamental de producción, y juega un papel de primer orden en los programas de mejoramiento genético ante la necesidad de seleccionar vacas superiores que alcancen los mejores rendimientos económicos dentro del sistema.

Es preciso resaltar la importancia de continuar realizando evaluaciones genéticas a nivel regional y nacional, que no solamente brinden herramientas para la toma de decisiones confiables de selección ó apareamiento en los diferentes sistemas de producción, sino que además proporcionen una medida uniforme para la comparación del recurso genético animal disponible, como una herramienta de mercadeo que incremente el valor económico de los animales evaluados a nivel local.

4.6 BIBLIOGRAFÍA

Ossa GA y Manrique C. Programa nacional de mejoramiento genético en ganado bovino de carne, esquema general. Rev. El Cebú. 1998; 302: 56-74.

González A. Métodos de selección en ganado lechero [en línea] 2000. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Disponible en: URL: <http://www.fmvz.uat.edu.mx>.

Morales E. El mejoramiento genético animal. Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura [en línea] 2002. Disponible en: URL: <http://www.lead.virtualcenter.org>.

Ossa GA, Pérez JE y Torregroza L. Programa de mejoramiento genético para la ganadería de carne a nivel de finca. Rev. El Cebú. 1997; 299: 10-20.

Solarte, C. Utilización de diferentes métodos para estimar valor genético de reproductores Holstein registrados en cuatro regiones de Colombia [tesis de grado]. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia: Universidad Nacional de Colombia; 1992.

Ruiz FJ, Moro J y Castañeda E. Evaluaciones genéticas de ganado Holstein en México. Holstein de México: Centro nacional de investigación en fisiología y mejoramiento animal. 1999; 30-45.

Swalve HH. Theoretical basis and computational methods for different test day genetic evaluation methods. J. Dairy Sci. 2000; 83: 1115-1124.

Martínez JC y Parra GM. Mejoramiento genético del Ganado Brahman en México [en línea] 1994. Disponible en: URL:<http://www.turevista.uat.edu.mx>.

Quijano JH y Montoya C. El modelo animal y su comparación con otras ayudas de selección, para producción de leche. Rev. Fac. Nal Agr. Medellín. 1998; 51 (2): 51-64.

León E. El BLUP en el mejoramiento genético del cerdo, reseña bibliográfica [en línea] 1999. Instituto de investigaciones porcinas de la Habana, Cuba. Disponible en: URL:<http://www.sian.info.ve>.

Cura EE. Desarrollo y progreso de las evaluaciones genéticas en los bovinos [monografía]. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia: Universidad Nacional de Colombia; 2003.

Martínez R, Gallego J, Onofre G y Pérez J. Variabilidad y potencial genético de las poblaciones entregadas en el programa nacional de fomento de bovinos criollos. Rev. Corpoica. 2006; 4 (4).

Stanton TL, Jones LR, Everett RW, and Kachman SD. Estimating milk, fat, and protein lactation curves with a test day model. J. Dairy Sci. 1992; 75:1691-1700.

Holstein Association USA. Holstein type production, sire summaries. Holstein Association USA. Inc. 2002; 6-20.

Vanegas, O. Estimación de parámetros genéticos productivos y reproductivos en ganado Normando registrado [tesis de grado]. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia: Universidad Nacional de Colombia; 1994.

Reyes, VM. Varianzas genéticas y correlaciones en ganado Holstein registrado en Colombia [tesis de grado]. Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente: Universidad Francisco de Paula Santander; 1996.

Cerón MF, Tonhati H, Costa C y Benavides F. Interacción genotipo-ambiente en ganado Holstein colombiano. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 2001; 9(2): 74-78.

Ossa GA y Manrique C. La repetibilidad y el índice materno productivo como criterios de selección. Rev Med. Vet. Zoot. 1999; 72: 7-14.

Ruales F. Análisis de componentes principales para construir un índice de selección en ganado Romosinuano [tesis de postgrado]. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia: Universidad Nacional de Colombia; 2004.

Ossa G, Suarez M y Pérez J. Efectos del medio y la herencia sobre el peso al destete de terneros de la raza Romosinuano. Rev. MVZ Córdoba. 2005; 10 (2).

Arboleda EM, Vergara OD y Restrepo LF. Características de crecimiento en bovino mestizos en la costa norte Colombiana. Liv. Res. Rur. Dev. 2007; Vol. 19, Art. 5.

Cañas J, Ramírez J, Arboleda O, Ochoa J, Vergara O y Cerón M. Estimación de parámetros genéticos para peso al destete en ganado Blanco Orejinegro (BON) en el noroccidente colombiano. Rev. MVZ Córdoba. 2008; 13 (1).

Cruz, C. Factores genéticos y ambientales que afectan la producción y reproducción de un hato Pardo Suizo mestizo en el Piedemonte Llanero [tesis de grado]. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia: Universidad Nacional de Colombia; 1993.

Martínez M. Determinación de factores de ajuste para ganado Holstein en Sabana de Bogotá [tesis de grado]. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia: Universidad Nacional de Colombia; 1993.

Salgado R, Cury A, Ruiz R y Álvarez J. Evaluación del comportamiento reproductivo postparto, influido por la época del año y la raza en bovinos bajo el sistema doble propósito. Rev. MVZ Córdoba. 2002; 7 (1): 152-156.

Vergara O, Salgado R, Maza L, Botero L, Martínez C, Medina C y Pestana J. Factores que afectan el primer intervalo de parto de hembras bovinas manejadas bajo el sistema doble propósito. Liv. Res. Rur. Dev. 2007; 19 (10).

Asociación Colombiana de Criadores de ganado Cebú (ASOCEBÚ). Evaluación genética de toros Brahman 2006. Asocebú Colombia. 2006.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Colombia). Caracterización geográfica de los departamentos de Colombia [en línea] 2006. Disponible en: URL: <http://www.igac.gov.co>.

Tatis RE y Botero LM. Génesis y consolidación del sistema vacuno en doble propósito. Bogotá, Colombia: Ed. Produmedios; 2005.

Botero L, Botero P y Botero A. Trashumancia: Historia de hombres, reses y ríos. Sucre, Colombia: Ed. Universidad de Sucre; 2006.

Statistical Analysis Systems [programa de ordenador]. Version 9.0. Statistical Analysis System Institute. Statistics. Cary, NC.; 2007.

Montoya C. Estimación del valor genético para producción de leche a través de un modelo lineal mixto con repetibilidad (modelo animal). Informe final de investigación de año sabático, Facultad de Ciencias Agropecuarias; Universidad Nacional de Colombia, Medellín (Colombia) 1996.

Galvis, AD. Interacción genotipo por medio ambiente en la evaluación de toros para producción de leche en el centro Paysandú [tesis de grado]. Facultad de Ciencias Agropecuarias: Universidad Nacional de Colombia; 2001.

Tatis RE. El sistema vacuno en doble propósito. Agricultura de las Américas. 2006; 357: 2-4.

5. CONCLUSIONES

El desarrollo de programas de evaluación genética en los sistemas bovinos de doble propósito, es indispensable para mejorar la eficiencia y rentabilidad de las empresas ganaderas del país, teniendo en cuenta su alta representatividad y contribución dentro de éste renglón del sector agropecuario.

Se determinó una fuerte influencia de los factores relacionados con el entorno en la expresión fenotípica de cada una de las características productivas y reproductivas evaluadas en estos sistemas de producción, específicamente, de la región geográfica, el sexo de las crías, el año y la época de parto.

La composición racial de las hembras evaluadas influyó en la expresión de la producción de leche, el peso al destete y el Índice de Vaca, aunque no afectó significativamente el intervalo entre partos. Esto apoya la premisa de que las características de tipo reproductivo dependen en su mayor proporción, de las condiciones medio ambientales a las cuales se someten los animales en éstos sistemas de producción.

La decisión de mantener ó modificar una composición racial determinada, depende de la disponibilidad de recursos y de los intereses particulares de cada productor, teniendo en cuenta que cada combinación de genes se expresa de manera diferente de acuerdo al ambiente en el cual se desarrolle.

La presencia de razas taurinas especializadas en producción de leche mejora los volúmenes productivos del hato, aunque su nivel óptimo de inclusión debe ser establecido teniendo en cuenta los requerimientos de adaptación y resistencia de los animales manejados en las regiones de trópico cálido.

La baja heredabilidad y repetibilidad obtenidas para el intervalo entre partos, indican que la mayor proporción de su variación fenotípica es atribuida a los

efectos de tipo medio ambiental, más que al efecto propio de los genes que regulan su expresión.

Es posible obtener buenos niveles de respuesta a los programas de selección y mejoramiento genético para la producción de leche por lactancia, teniendo en cuenta que es una característica medianamente heredable y repetible a través de los diferentes partos de las hembras evaluadas.

El peso de las crías al destete presentó valores de heredabilidad y repetibilidad bajos en la población bovina estudiada, lo cual señala la mayor influencia de los factores de entorno en su expresión.

Los parámetros genéticos determinados por primera vez para el Índice de Vaca, demuestran que es un buen indicador de la eficiencia productiva y reproductiva de los animales, desde el punto de vista genético.

Las correlaciones genéticas positivas obtenidas entre el intervalo entre partos y la producción de leche y el peso al destete, demuestran una vez más, el antagonismo que generalmente se presenta entre éstas características desde el punto de vista biológico y fisiológico.

La correlación genética negativa obtenida entre la producción de leche y el peso al destete, expresa el efecto del sistema de manejo característico de estos sistemas de producción, en donde los volúmenes totales de leche dependen de los excedentes generados por las crías.

Las correlaciones genéticas presentes entre el Índice de Vaca y las demás características evaluadas, están dadas por la participación y el comportamiento de cada una de ellas dentro del índice.

Los valores genéticos estimados para los animales evaluados, deben ser utilizados como una herramienta para el direccionamiento y ejecución de programas de selección y mejoramiento genético más adecuados y efectivos.

La variabilidad genética encontrada en cada una de las características analizadas, indica que hay una buena proporción de individuos mejorantes en la población de los sistemas doble propósito del trópico bajo colombiano, que permitiría obtener progresos genéticos substanciales a través del tiempo.

El progreso genético obtenido para las características evaluadas en el periodo comprendido entre los años 1998 y 2003, ha sido prácticamente nulo, debido entre otros aspectos, a la implementación de esquemas de selección basados en criterios de apreciación fenotípica.

Es indispensable continuar desarrollando investigaciones y avances en el ámbito del mejoramiento genético animal en los diferentes sistemas y escalas productivas del país, que contribuyan a la estructuración de esquemas y planes nacionales de mejoramiento animal con metodologías propias y adecuadas a las necesidades de nuestra industria ganadera.

6. RECOMENDACIONES

Planear y ejecutar protocolos de manejo adecuados de acuerdo con la disponibilidad de recursos de cada empresa ganadera (implementación de montas estacionales, esquemas de suplementación, estandarización de técnicas reproductivas, medicina preventiva, entre otros), con el fin de homogenizar al máximo las condiciones de entorno de los animales y controlar su variación a través del tiempo.

En el caso de las características reproductivas como el intervalo entre partos, se recomienda estructurar los programas de mejoramiento genético con base en sistemas organizados de cruzamiento, que permitan aprovechar el vigor híbrido presente en las diferentes razas de ganado adaptado al trópico cálido.

Para la producción de leche por lactancia es conveniente desarrollar programas de selección con base en los valores genéticos estimados, aprovechando el potencial genético de los animales superiores, y descartando oportunamente aquellos que presenten los menores rendimientos.

Realizar valoraciones genéticas para peso al destete incluyendo los efectos maternos, teniendo en cuenta su alta influencia en las primeras etapas de vida de las crías.

Implementar el Índice de Vaca como un indicador genético del potencial productivo y reproductivo de las hembras bovinas manejadas en los sistemas de producción de doble propósito del país.

Se sugiere que los resultados obtenidos en la presente investigación, sirvan de guía no solamente para el perfeccionamiento de las técnicas y metodologías de evaluación genética animal desarrolladas en futuras investigaciones, sino que además se constituyan como herramientas sólidas de fundamentación para los

diferentes actores involucrados en los sistemas de producción bovina de doble propósito en Colombia.

Es necesario continuar desarrollando investigaciones relacionadas con la caracterización y valoración genética del recurso animal disponible, que involucren mayores volúmenes de información, regiones geográficas, escalas productivas, genotipos, y que abarquen mayores periodos de tiempo, con el fin de determinar con una mayor exactitud y confiabilidad su verdadera situación en los diferentes sistemas de producción.

Para ello, es indispensable la generación de esquemas y programas de registro homogéneos de fácil aplicación en todos los renglones productivos del sector ganadero nacional, que permitan obtener la información necesaria para el desarrollo y estructuración de programas nacionales de mejoramiento genético.