



CONFERENCIA N° 16

EVALUACIÓN GENÉTICA DE REPRODUCTORES: PASADO, PRESENTE, FUTURO

Omar Verde

Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Central de Venezuela y
Fundación Centro de Investigaciones del Estado
para la Producción Experimental Agroindustrial (CIEPE)

omarverde@cantv.net

Maracaibo, septiembre de 2008

I. INTRODUCCIÓN

El mejoramiento genético tiene dos componentes: (1) El análisis, que permite detectar los mejores genotipos y (2) la síntesis, que consiste en realizar las mejores combinaciones de los materiales genéticos a través de la selección y los sistemas de apareamiento.

Mucho se ha logrado avanzar en los programas de selección de reproductores. En relativamente corto tiempo se ha logrado la incorporación de conocimientos de matemáticas y estadística, de genética cuantitativa y de poblaciones, así como los recursos computacionales, para hacer factible procesos complejos que permiten estimar valores genéticos de animales con alta precisión. Todavía se tienen dudas o necesidades, pero cada día se obtienen progresos que permiten obtener resultados mas aproximados al verdadero valor.

A continuación, se pretende presentar un corto resumen de las principales metodologías que se han utilizado y que se proponen para escoger reproductores, desde la apreciación visual hasta técnicas genético-estadísticas que permiten señalar un valor numérico asociado con el estimado de la capacidad genética de un animal para una característica de relevancia. También se señalarán las dificultades actuales y las necesidades en futuras investigaciones.

II. BREVE RESUMEN HISTÓRICO

Se registran evidencias que señalan que hace más de 5 000 años los animales jugaban un importante papel en las actividades de la humanidad, por lo que la utilización de los animales por parte del hombre no es nada nuevo. Fueron los bovinos una de las especies más utilizadas, tanto en el trabajo de la tierra como para producir leche y carne. Documentación histórica muestra que durante el Imperio Romano existían rebaños de bovinos con iguales objetivos a los antes

señalados. Luego vino un largo período con escasos o nulos progresos en la cría bovina.

En Inglaterra, a inicios del siglo XVIII se comenzó a observar un cierto ímpetu en la producción animal. Se estableció el sistema de propiedades individuales y el cercado de terrenos. Estas acciones permitieron desarrollar nuevos y mejores métodos de manejo, así como el cultivo de mejores pastos. Se hace referencia al Smithfield Market, donde, para el año 1710, los becerros pesaban 23 kg, mientras que en 1795 promediaban 67 kg, gracias a las iniciativas individuales (Rice *et al.*, 1967).

Por el continente americano se presentaba una situación bastante diferente a la realidad europea antes mencionada. No existían caballos, bovinos, ovinos ni suinos. Ellos fueron traídos por los conquistadores, sin distinciones de razas. También conviene señalar que en este período inicial de incorporación de nuevas especies, y ante las precarias condiciones de vida para ese entonces, no se aplicaron métodos de mejora.

El más notable desarrollo en el siglo XVIII se debe a un inglés, Robert Bakewell (1725-1795), quién en 1760 inició sus trabajos con caballos, ovejas y bovinos en Dishley, Inglaterra. Tres fueron sus principios básicos:

- Un ideal definido. Para ganado de carne debía ser un animal bajo, rectangular, con alta velocidad de crecimiento y rápida madurez.
- No vendía animales, los alquilaba y los regresaba a sus propiedades si ellos transmitían cualidades favorables.
- Apareaba lo mejor con lo mejor, independientemente del parentesco.

Parecer ser que Bakewell fue el primero en poner en marcha un programa sistemático de prueba de progenie en ovinos y bovinos. Sus principios de selección y apareamiento entre parientes fueron copiados y ampliamente utilizados. Ello condujo a la creación de razas, que luego fueron traídas a América del Norte para ser cruzadas entre sí o para aparearse con las líneas nativas que

surgieron de la sobrevivencia de los más aptos (Rice *et al.*, 1967; Johansson y Rendel, 1968).

El desarrollo norteamericano en este campo fue notable. A fines del siglo XIX se crearon varias asociaciones en EEUU y se produjo un gran avance en la ganadería a pesar de no utilizar métodos rígidos de selección.

Por otro lado, la incorporación de la inseminación artificial en el manejo animal en los inicios del siglo XX produjo un importante impulso. Esta técnica se extendió de manera vertiginosa y ha permitido la difusión de recursos genéticos de una forma que no era posible años atrás. Más recientemente, la técnica de la superovulación ha sido utilizada para obtener mayor cantidad de hijos de una hembra, lo que permite maximizar el uso del mejor material genético.

Adicionalmente, se dispone de los avances en el desarrollo de programas computarizados que permiten aplicar conocimientos teóricos de genética cuantitativa y poblacional, métodos estadísticos más apropiados para realizar cálculos de valores genéticos con mayor precisión y progresos cibernéticos que permiten la utilización de equipos de computación más veloces, con mayor capacidad de memoria y con costos relativamente menores.

III. MÉTODOS PARA LA SELECCIÓN DE REPRODUCTORES

A continuación se presentará un breve resumen de algunas metodologías utilizadas para realizar el proceso de escogencia de reproductores.

1. Apreciación Visual

Fue el primer paso para escoger o decidir que animales utilizar como reproductores. Los planteamientos de Bakewell fueron aplicados ampliamente por mucho tiempo. Aún hoy, son numerosos los productores que utilizan la apariencia del animal como método de selección. Las ferias agropecuarias todavía gozan de

gran aceptación. Muchos ganaderos adquieren y utilizan animales que tienen como mérito más sobresaliente “ser campeón en una feria agropecuaria”.

Lamentablemente, existe poca relación entre tipo y producción, por lo que no se justifica su uso como único método de selección de reproductores, salvo que sea para detectar defectos anatómicos que impidan una actividad productiva normal.

2. Mediciones Productivas Directas

Un paso importante, pero no suficiente, en la escogencia de reproductores viene dado por la cuantificación. Esto significa un avance, especialmente si se refiere a caracteres de importancia económica, pero tiene una serie de fallas importantes para poder hacer comparaciones apropiadas entre animales al no tomar en consideración los posibles efectos ambientales que afectan estas expresiones fenotípicas.

3. Mediciones Productivas Aplicando Factores de Ajustes

Para tratar de avanzar en la precisión para la comparación entre animales, se consideró la posibilidad de desarrollar una serie de factores de ajuste para los valores medidos. Entre otros podemos mencionar:

- Peso corregido a 205 días de edad
- Peso corregido a 548 días de edad
- Producción de leche ajustada por número de parto
- Producción de leche ajustada por época de parto
- Intervalo entre partos ajustado por número de parto
- Producción de leche ajustada por día de intervalo

Algunos ajustes pueden ser realizados más fácilmente que otros. Así, un peso corregido a una edad constante sólo requiere aplicar una fórmula muy sencilla, si se asume que el crecimiento en el intervalo es lineal.

Otros tipos de ajustes son un poco más complicados. Así, para corregir la producción de leche por número o época de parto se necesitan factores que pudieran ser proporcionados por tablas desarrolladas en otras condiciones productivas, lo que no se considera totalmente apropiado.

También se pueden obtener factores de ajuste mediante la realización de análisis estadísticos con un modelo apropiado y una metodología adecuada. En la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Central de Venezuela analizamos, durante muchos años, datos de diferentes especies utilizando la metodología de los cuadrados mínimos y diferentes modelos estadísticos. Esto permitió obtener estimados de efectos (constantes obtenidas a partir de las soluciones) lo que, a su vez, permitió realizar ajustes para los valores de respuesta. Los valores ajustados obtenidos sirvieron de base para el cálculo de valores relativos dentro de una temporada, un sexo, un rebaño, etc., y para producir listas para la selección de jóvenes reproductores.

Para el caso de los sementales, la evaluación con cuadrados mínimos se realizaba en una forma diferente: se efectuaba el análisis de los datos mediante un modelo que incluía los efectos para los que se deseaba realizar el ajuste del peso en evaluación: año de nacimiento, mes de nacimiento, sexo del becerro, edad de la madre al parto, las interacciones que se consideren necesarias y, adicionalmente, el efecto de padre del becerro. El programa producía, para cada toro incluido en el análisis, la superioridad o inferioridad con respecto al promedio del rebaño, previo ajuste para los factores incluidos en el modelo. Estos valores obtenidos eran reflejo de lo que el toro era capaz de transmitir y, por consiguiente, es de mayor valor interpretativo que el calculado para los toretes con, exclusivamente, sus propios datos. Es decir, constituyó una herramienta poderosa que pudo ser utilizada para la toma de decisiones sobre sementales a eliminar o a ser utilizados con mayor intensidad en la siguiente temporada de servicio.

En el caso de sementales en prueba de progenie en varias fincas, el efecto de hato debía ser tomado en consideración en el modelo para el análisis de

los datos. La interpretación y toma de decisión sobre la base de los resultados obtenidos fue muy similar a lo señalado en el punto anterior.

4. Tomando en Cuenta la Información de Parientes

Las listas producidas por los sistemas computarizados para el control de la producción de los rebaños, por lo general, no toman en cuenta la información que pueden aportar los parientes de cada animal (padres, hermanos, medio hermanos, primos, etc.) en la estimación del valor genético. En la Facultad de Ciencias Veterinarias de la UCV se desarrolló un programa computarizado para estimar el valor genético de un grupo de animales disponiendo de la información del propio individuo, de sus padres, hermanos y medio hermanos. Este programa estuvo siendo aplicado, fundamentalmente, en el área porcina pero su utilización para bovinos se detuvo cuando se logró incorporar la metodología de Modelos Mixtos (BLUP y Modelo Animal) en los procesos de estimación de los valores genéticos de los animales de un rebaño o un grupo de ellos.

5. Utilizando la Metodología de los Modelos Mixtos

La metodología de los Modelos Mixtos data de los años 50. Sin embargo, su aplicación para la evaluación de reproductores tardó en implementarse, especialmente en los países en vías de desarrollo. Requiere de equipos de gran capacidad de memoria y alta velocidad de proceso. Sin embargo, el vertiginoso crecimiento de la cibernética ha hecho posible que actualmente se disponga de microcomputadores que permiten realizar evaluaciones de apreciables volúmenes de datos en relativamente corto tiempo. Nuestra opinión cambió radicalmente. Hace pocos años (Verde y Plasse, 1992) señalamos que para la aplicación de la metodología de los Modelos Mixtos se requería de estimados precisos de los componentes de variancia y gran capacidad de memoria para el proceso, en atención a la dimensión de las matrices involucradas en los cálculos. En la

actualidad, se dispone de programas para estimar con precisión los componentes de variancia y obtener con eficiencia los estimados de valores genéticos de los animales.

Muy concretamente, se puede realizar la predicción del valor genético con base a la metodología de los Modelos Mixtos, procedimiento que permite obtener una predicción del valor genético de un reproductor con propiedades estadísticas definidas como Mejor Predictor Lineal Insesgado (BLUP, abreviatura de la denominación en inglés). Al utilizar el Modelo Animal, se procederá a la obtención de una evaluación genética para todos los animales que forman parte del archivo, asignándole una DEP (Diferencia Esperada entre Progenies) no sólo a los toros padres sino también a las vacas, toretes, novillas, mautes, mautas, becerros y becerras.

El procedimiento computacional para el análisis de los datos involucra lo siguiente:

- Una matriz X para la codificación de los efectos fijos incluidos en el modelo.
- Una matriz Y de valores obtenidos para la(s) variable(s) en estudio.
- Una matriz identidad Z para los animales con información de la(s) variable(s) incluidas en el análisis.
- Una matriz A de parentesco entre todos los animales identificados en el rebaño, incluyendo los animales que no tengan información sobre las variables estudiadas. A través de estas relaciones de parentesco se obtendrán los estimados de valores genéticos de aquellos individuos que no tienen información directa y también servirá para obtener con mayor precisión los estimados de los individuos que, además de su información directa, tienen parientes con registros en el rebaño.
- Un estimado de la relación $\alpha = \sigma_e^2/\sigma_a^2$ (variancia residual/variancia genética aditiva).

- Resolver el sistema de ecuaciones, para el modelo con efecto genético directo:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & 0 \\ Z'X & Z'Z + A^{11}\alpha & A^{12}\alpha \\ 0 & A^{21}\alpha & A^{22}\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ 0 \end{bmatrix}$$

donde: A^{11} es la submatriz de la inversa de la matriz de parentesco asociada con los animales con información directa, A^{22} es la submatriz de la inversa de la matriz de parentesco asociada con los animales sin información directa, A^{12} es la submatriz de la inversa de la matriz de parentesco que relaciona animales con información y animales sin información directa, A^{21} es la traspuesta de A^{12} , b son las soluciones para los efectos fijos, a_1 son las soluciones (valores genéticos) para los animales con información directa y a_2 son las soluciones (valores genéticos) para los animales sin información directa.

El Modelo Animal tiene varias ventajas:

- Ajusta para los efectos que se considera pueden influir en la variación del carácter en estudio (sexo del becerro, año de nacimiento, mes de nacimiento, edad de madre al parto, etc.).
- No sólo evalúa toros, sino que también evalúa vientres.
- Los potenciales reproductores del rebaño: toretes, novillas, mautas y becerros, también tendrán una DEP.
- Las relaciones de parentesco completas entre todos los animales son utilizadas para predecir con una mayor cantidad de información cada valor de DEP.

- No requiere apareamiento aleatorio entre toros y vacas, pues los vientres son incluidos en el modelo y, por lo tanto, se ajusta para el diferente mérito genético que puedan tener las distintas hembras.
- Produce, no sólo la estimación del valor genético directo (crecimiento) del padre y la madre, sino que también puede predecir el valor genético materno (capacidad lechera) de los mismos.
- Acepta incluir efectos aleatorios no correlacionados en el modelo.
- La metodología permite evaluar simultáneamente más de un carácter, por lo que se tendrá estimados de valor genético para un carácter, ajustado por las correlaciones genéticas con los otros caracteres evaluados en forma simultánea.

En el año 1994 comenzamos a utilizar esta metodología para la evaluación de los animales del rebaño de la Estación Experimental “La Cumaca” de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Central de Venezuela, destinada a la producción de jóvenes reproductores de ganado Brahman de alto valor genético. Para poder automatizar su aplicación desarrollamos, dentro de nuestro Sistema Computarizado de Control de la Producción del Rebaño, una opción para la creación del archivo que se debe remitir para la evaluación. Posteriormente, se regresan los resultados de la evaluación, para incorporar en la base de datos del sistema de control las DEPs obtenidas para las características evaluadas.

Es oportuno señalar que para una acertada evaluación de datos a través de la metodología de los Modelos Mixtos se requiere de conocimientos de genética, estadística y computación, a objeto de lograr crear un archivo apropiado de datos para el análisis, aplicar un modelo de análisis adecuado, interpretar correctamente los resultados obtenidos y producir los reportes correspondientes.

Para la aplicación de la metodología de los Modelos Mixtos bajo Modelo Animal, hemos utilizado el grupo de programas MTDFREML (Boldman *et al.*,

1995), los que, mediante la aplicación del método de máxima verosimilitud restringida sin derivación, permiten realizar estimaciones de componentes de varianza y covarianza y predicciones de valores genéticos.

A continuación, se presenta una lista parcial de toretes (Cuadro 1) y otra de toros padres (Cuadro 2) con información de DEPs obtenidas mediante la aplicación de los programas antes señalados.

Como se puede observar, se presenta mayor información con relación a los estimados de valores genéticos y sus precisiones, lo que permite realizar una selección más apropiada de reproductores, lo que también ha sido señalado por Plasse *et al.* (2006).

6. Utilización de covariable(s)

En los análisis previos, se ha considerado el peso corregido a 548 días como una característica de gran importancia en el programa de selección de reproductores. Este peso se corrige asumiendo que el crecimiento entre la edad cuando se obtuvo la medición y la edad de 548 días sigue una tendencia lineal y que, aplicando la fórmula previamente descrita en el punto 3, se obtiene un estimado bastante aproximado del peso que tendría un animal a los 548 días. Luego, con estos datos, se procede a realizar el análisis por Modelo Animal y, así, obtener los estimados de valores genéticos de los animales.

Una alternativa que se puede plantear es realizar el análisis de las mediciones obtenidas para peso a 18 meses y, sin realizar la corrección a 548 días, hacer el análisis incluyendo el efecto de edad al momento del pesaje como una variable continua. Esto tiene la ventaja de poder incluirla en el análisis como efecto lineal o no lineal (cuadrático, por ejemplo).

Cuadro 1. Lista parcial de toretes 2006 de un hato en Venezuela ordenada por DEP directo para peso a 548 días producida por análisis con la metodología de modelos mixtos, bajo un modelo animal

Ident ^b	Padre	Madre	P548 ^c	Peso al nacer				Peso a 205 días				Peso a 548 días				CE ^g	
				Dir ^d	Pdir ^e	Mat ^f	Pmat ^g	Dir ^h	Pdir ⁱ	Mat ^j	Pmat ^k	Dir ^l	Pdir ^m	Mat ⁿ	Pmat ^o	Dce ^p	Pce ^q
6024	9070	3067	378	3,5	0,75	0,8	0,42	8,8	0,57	6,3	0,49	19,0	0,64	7,1	0,48	0,7	0,76
6065	9070	0042	349	1,6	0,75	0,5	0,46	6,9	0,57	6,1	0,53	15,5	0,65	6,8	0,52	1,9	0,76
6124	2138	3121	328	0,3	0,75	0,0	0,38	4,8	0,55	4,4	0,45	15,2	0,63	5,2	0,44	2,2	0,76
6050	9070	7061	321	2,7	0,76	0,8	0,47	5,9	0,58	1,2	0,55	15,0	0,65	2,4	0,54	0,1	0,76
6091	3070	3059	0	1,8	0,76	-0,1	0,41	5,5	0,56	6,1	0,47	15,0	0,58	6,8	0,46	0,7	0,53
6037	3070	3136	0	2,6	0,74	0,1	0,37	5,9	0,47	2,7	0,39	14,9	0,52	3,6	0,38	0,5	0,50
6076	8032	2003	341	2,3	0,75	0,8	0,47	4,9	0,58	7,9	0,55	14,7	0,65	8,4	0,54	0,4	0,77
6116	9070	8020	347	2,8	0,75	0,9	0,47	6,1	0,58	5,4	0,54	14,2	0,65	5,9	0,53	1,1	0,77
.
.
.
6067	3070	9059	265	0,3	0,75	-0,1	0,41	2,3	0,55	5,8	0,48	3,8	0,63	5,9	0,47	-1,2	0,76
6026	3091	3038	272	1,2	0,75	0,4	0,38	1,0	0,55	2,2	0,44	3,8	0,63	2,6	0,44	0,0	0,76
6094	0034	3108	290	0,3	0,72	0,0	0,26	0,2	0,49	1,6	0,33	3,3	0,58	1,7	0,33	-0,6	0,74
6038	3091	9026	279	1,2	0,75	1,1	0,41	0,5	0,54	3,3	0,49	3,2	0,63	3,7	0,48	0,2	0,76
6073	3091	8025	277	0,4	0,74	0,3	0,40	0,8	0,53	3,7	0,47	1,5	0,62	3,9	0,47	1,6	0,76
6013	3091	3019	260	0,6	0,74	0,2	0,35	1,0	0,53	5,0	0,41	1,4	0,62	4,9	0,41	0,7	0,72
6129	0034	9071	258	-0,2	0,73	0,1	0,32	0,3	0,50	1,3	0,40	-1,1	0,60	1,2	0,39	0,0	0,75
6003	0034	3017	203	1,3	0,72	0,0	0,29	-1,0	0,50	-1,2	0,36	-3,7	0,59	-1,3	0,36	-1,1	0,71
6120	3091	7116	128	0,4	0,74	0,7	0,41	-2,4	0,54	3,0	0,48	-7,8	0,63	3,0	0,48	-1,5	0,76

^aCircunferencia escrotal, ^bIdentificación del torete, ^cPeso corregido a 548 días, ^dDEP directo para peso al nacer (DEPdPN), ^ePrecisión de DEPdPN, ^fDEP materna para peso al nacer (DEPmPN), ^gPrecisión de DEPmPN, ^hDEP directo para peso a 205 días (DEPdP205), ⁱPrecisión de DEPdP205, ^jDEP materno para peso a 205 días (DEPmP205), ^kPrecisión de DEPmP205, ^lDEP directo para peso a 548 días (DEPdP548), ^mPrecisión de DEPdP548, ⁿDEP materno para peso a 548 días (DEPmP548), ^oPrecisión de DEPmP548, ^pDEP estimada para circunferencial escrotal (DEPCE), ^qPrecisión de DEPCE.

Cuadro 2. Lista parcial de toros de un hato en Venezuela ordenada por DEP directo para peso a 548 días producida por análisis con la metodología de modelos mixtos bajo un modelo animal

Padre ^b	Hnac ^c	H205 ^d	H548 ^e	Hce ^f	Peso al nacer				Peso a 205 días				Peso a 548 días				CE ^g	
					Dir ^g	Pdir ^h	Mat ⁱ	Pmat ^j	Dir ^k	Pdir ^l	Mat ^m	Pmat ⁿ	Dir ^o	Pdir ^p	Mat ^q	Pmat ^r	Dce ^s	Pce ^t
944003	143	129	109	49	3,4	0,96	-1,0	0,83	6,7	0,88	-0,2	0,88	17,4	0,92	0,3	0,86	1,9	0,91
999070	105	99	86	39	3,2	0,95	1,0	0,67	8,1	0,85	3,7	0,74	16,4	0,89	4,5	0,72	0,7	0,90
033070	36	33	28	11	1,5	0,90	-0,4	0,50	5,6	0,75	2,1	0,55	15,8	0,81	3,2	0,54	0,7	0,84
044057	22	17	0	0	2,2	0,87	0,8	0,37	5,7	0,65	4,7	0,44	15,7	0,66	5,3	0,43	0,0	0,75
011073	21	18	17	7	0,0	0,89	0,6	0,58	3,6	0,72	8,5	0,67	15,1	0,79	9,0	0,66	0,4	0,83
044076	33	31	0	0	0,1	0,89	0,0	0,45	4,0	0,71	4,7	0,51	14,6	0,71	5,1	0,50	1,0	0,76
944011	73	69	67	27	-0,2	0,94	-0,6	0,80	4,2	0,83	2,6	0,87	14,5	0,89	3,8	0,85	0,4	0,89
900045	20	19	18	0	1,3	0,89	-0,1	0,65	3,7	0,73	1,7	0,73	13,1	0,80	2,5	0,71	-0,2	0,58
000073	61	56	56	26	3,0	0,93	0,2	0,66	3,7	0,79	0,6	0,74	13,0	0,86	1,3	0,73	1,3	0,88
988032	52	51	51	22	1,1	0,93	0,8	0,69	3,9	0,81	13,6	0,77	12,9	0,87	13,8	0,75	0,3	0,88
766045	25	24	22	0	2,2	0,90	0,4	0,69	4,1	0,73	-0,6	0,78	11,9	0,81	-0,7	0,76	-0,3	0,18
777042	14	14	14	0	0,9	0,86	-0,1	0,61	4,0	0,69	1,6	0,69	11,5	0,77	1,6	0,68	-0,2	0,18
022049	44	40	28	17	-0,5	0,91	0,3	0,38	2,2	0,74	4,0	0,46	11,2	0,80	4,7	0,45	2,1	0,86
699055	74	68	67	0	-0,2	0,95	-0,2	0,79	2,2	0,83	3,9	0,86	10,8	0,89	4,1	0,84	-0,2	0,16
888097	6	6	6	0	1,1	0,83	0,4	0,58	3,6	0,64	-6,2	0,66	10,4	0,73	-5,1	0,65	-0,7	0,42
911015	17	13	12	0	0,1	0,88	0,7	0,63	3,8	0,69	2,1	0,71	10,3	0,77	2,4	0,69	0,5	0,52
877112	52	52	48	0	0,1	0,93	-0,1	0,77	2,1	0,82	3,9	0,83	10,0	0,88	3,7	0,81	1,0	0,69
.
.
.
666046	70	69	67	0	-1,6	0,94	-0,1	0,78	-2,4	0,83	6,7	0,85	-3,9	0,89	5,6	0,83	-0,1	0,15
700060	69	66	64	0	1,3	0,94	0,7	0,82	-1,0	0,84	5,3	0,88	-4,0	0,90	4,5	0,86	0,1	0,26
699081	84	82	81	0	-0,7	0,95	0,2	0,82	-1,9	0,85	1,0	0,88	-4,9	0,90	1,3	0,86	-0,1	0,15
677006	30	28	22	0	0,4	0,90	-0,4	0,60	-0,7	0,74	-3,6	0,68	-5,0	0,81	-4,2	0,67	-0,1	0,13
977032	38	36	36	16	1,7	0,92	0,5	0,64	0,8	0,77	5,7	0,73	-5,5	0,84	5,6	0,71	-0,9	0,87
833108	35	32	31	0	-1,3	0,92	0,3	0,65	-2,7	0,76	0,6	0,73	-6,2	0,83	-0,3	0,72	0,0	0,23
722012	15	15	14	0	1,3	0,87	-0,2	0,54	-1,6	0,68	1,2	0,58	-6,7	0,76	1,3	0,57	-0,1	0,10
700024	16	14	13	0	-0,7	0,87	-0,2	0,56	-3,1	0,68	1,2	0,64	-9,1	0,76	1,1	0,63	-0,2	0,10
822011	46	43	39	0	-0,6	0,93	0,0	0,72	-5,0	0,79	2,8	0,79	-11,7	0,86	2,9	0,77	0,4	0,47

^aCircunferencia escrotal, ^bIdentificación del padre (Padrote), ^cNúmero de hijos con peso al nacer, ^dNúmero de hijos con peso al destete ajustado a 205 días, ^eNúmero de hijos con peso a 18 meses ajustado a 548 días, ^fNúmero de hijos con medida de circunferencia escrotal a 18 meses, ^gDEP directa para peso al nacer (DEPdPN), ^hPrecisión para DEPdPN, ⁱDEP materna para peso al nacer (DEPmPN), ^jPrecisión para DEPmPN, ^kDEP directa para peso a 205 días (DEPdP205), ^lPrecisión para DEPdP205, ^mDEP materna para peso a 205 días (DEPmP205), ⁿPrecisión para DEPmP205, ^oDEP directa para peso a 548 días (DEPdP548), ^pPrecisión para DEPdP548, ^qDEP materna para peso a 548 días (DEPmP548), ^rPrecisión para DEPmP548, ^sDEP para circunferencia escrotal (DEPCE), ^tPrecisión para DEPCE.

En el trabajo a presentar en el XXIII Cursillo sobre Bovinos de Carne organizado por la Cátedra de Genética de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Central de Venezuela, se realizó la comparación entre los resultados de los valores genéticos obtenidos por el análisis que incluía la variable corregida a 548 días y la variable peso a 18 meses con la edad incluida como covariable con efecto lineal. La correlación obtenida fue de 0,99, valor muy alto y que pudiera indicar que ambas metodologías proporcionan iguales resultados. Sin embargo, observando los valores obtenidos, se visualizan animales con diferencias importantes en cuanto a los resultados. En el Cuadro 3 se presentan algunos de estos valores discrepantes observados. Es posible detectar diferencias superiores a 3 kg en las DEPs obtenidas e, incluso, diferencias en el signo.

Esto plantea la necesidad de considerar, desde los puntos de vista teórico y práctico, la mejor forma de evaluar el peso obtenido a 18 meses, incluyendo dentro de esta discusión el grado de la covariable edad en el modelo.

7. Regresión Aleatoria

En el punto anterior se planteó la posibilidad de considerar la edad como un efecto fijo continuo sobre la medición de peso obtenida. En el presente aparte, se planteará un aspecto que ha sido mencionado con gran intensidad en fechas recientes pero, desde el punto de vista teórico, Henderson (1948) lo señaló hace más de 60 años.

El principio básico que se asume es que el efecto de la variable edad es aleatorio y que este efecto puede ser evaluado a lo largo de la trayectoria de las diferentes edades medidas. Esto permitiría realizar evaluaciones de pesos obtenidos a diferentes edades en un mismo animal (mediciones repetidas en el tiempo) o evaluaciones de pesos a diferentes edades de becerros de un mismo padre, lo que produce estimados de parámetros genéticos en diferentes momentos de la curva de crecimiento y predicciones de valor genético con mayor exactitud. Es decir, desde el punto de vista teórico, esta metodología constituye un

EVALUACIÓN GENÉTICA

refinamiento o avance en las evaluaciones genéticas, por lo que es de esperar mayor progreso.

Cuadro 3. Resultados de DEP en los análisis por modelo animal para el carácter peso a 18 meses donde se incluyó el carácter peso a 18 meses corregido a 548 días (I) o el carácter peso a 18 meses sin corrección a 548 días con la edad incluida como covariable con efecto lineal (II)

Análisis	
I DEP548	II DEP18M
25,435	22,040
-20,050	-16,340
19,035	16,250
27,505	24,180
30,610	28,035
32,230	29,385
30,565	27,925
32,690	30,035
32,400	29,880
-11,470	-8,365
-6,320	-3,799
⋮	⋮
1,928	-1,220
1,038	-0,080
0,118	-1,404
⋮	⋮
-1,077	0,016
-1,154	2,051
-0,654	0,562

Esta metodología conocida como Regresión Aleatoria permite proyectar la evolución de la trayectoria del crecimiento, aún cuando los datos de cada animal son registrados a diferentes edades. Toma en cuenta el período de tiempo entre las edades en las que se registraron los datos y proporciona un método para analizar el patrón de variación genética que pudiera revelar cambios potenciales en la trayectoria del crecimiento. Es decir, produce un valor genético estimado para cada una de las edades de interés, y por lo tanto, es posible obtener las curvas de crecimiento desde el punto de vista genético.

Las capacidades de memoria requeridas para realizar análisis por Regresión Aleatoria son elevadas. Los avances tecnológicos han hecho posible la difusión de programas de computación dirigidos a este fin. En el mercado ya existen diversos programas. En el trabajo a presentar en el XXIII Cursillo sobre Bovinos de Carne se utilizó al software ASREML, desarrollado por Gilmour *et al.* (2000).

Aún cuando la correlación entre los valores genéticos obtenidos por Regresión Aleatoria y por Modelo Animal para el carácter peso corregido a 548 días fue de 0,94, los resultados muestran, en algunos casos, grandes diferencias entre ellos. En el Cuadro 4 se presenta una lista de animales con grandes diferencias entre las DEPs. En algunos casos los estimados son mayores en una metodología pero en otros casos es lo contrario. Incluso, se presentan situaciones donde los estimados tienen signos contrarios.

A manera de ilustrar un poco más los resultados que permite el análisis de Regresión Aleatoria, se presenta en la Figura 1 resultados de 6 toros cuyas curvas de crecimiento son totalmente diferentes. Ellos son animales genéticamente superiores y con muy pocas diferencias en el valor genético para peso a 548 días. Se observa que tres de ellos tienen valor genético elevado en todo el intervalo de edad que se evaluó (patrón estable), mientras que los otros tres tienen valores bajos al inicio y elevados al final (patrón dinámico), con una tendencia o pendiente más pronunciada.

EVALUACIÓN GENÉTICA

Cuadro 4. Resultados de DEPs de toros obtenidas por análisis con modelo animal (I) y con regresión aleatoria (II)

Análisis	
I DEP548	II DEP18RA
-20,85	-9,88
-17,70	-7,35
-26,33	-16,01
-18,72	-8,30
-20,05	2,11
-27,40	-13,85
-9,75	3,06
-5,59	4,52
-11,47	6,28
-6,32	6,87
-22,21	-6,61
16,50	0,57
25,44	3,43
48,46	8,54
19,04	1,52
27,51	10,22
24,34	7,18
20,93	5,59
50,15	19,36
34,07	18,83
40,19	21,34
32,23	16,19
33,42	17,76
44,91	29,84

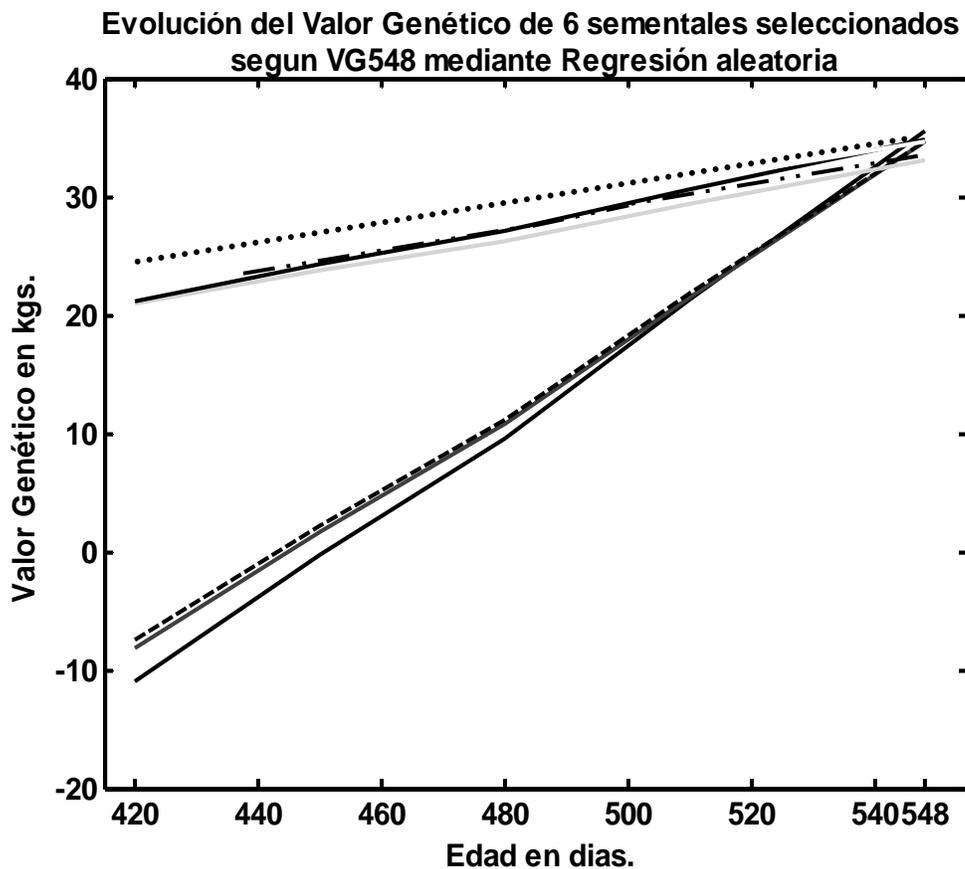


Figura 1. Evolución del valor genético de seis toros seleccionados según valor genético para peso a 548 días mediante regresión aleatoria.

La información obtenida facilitará la selección, que será más precisa tomando en cuenta la evolución de los valores genéticos a lo largo del tiempo, la forma de la curva a favorecer, entre otras.

IV. PLASTICIDAD

Es frecuente que en los análisis de datos para la estimación de valores genéticos de reproductores, se disponga de datos provenientes de diferentes niveles ambientales (distintos ambientes). Al realizar la evaluación, se obtiene una información que permite señalar que animales son genéticamente superiores, asumiendo que no existe un comportamiento diferencial de los toros (genotipos) en los diferentes ambientes, es decir, que la interacción genotipo por ambiente es nula o carece de importancia, por lo que el semental óptimo en un ambiente es también el óptimo en otro ambiente.

Existen diversas maneras de evaluar esta situación, desde un procedimiento básico donde se incluya en el modelo de análisis el efecto genético, el efecto fijo de ambiente, la interacción genotipo por ambiente, o un Modelo Animal donde se pueda estimar los valores genéticos de cada animal para cada ambiente o la utilización de la Regresión Aleatoria bajo un procedimiento denominado RNM (Reaction Norm Model). El RNM permite mayor grado de discriminación entre los sementales evaluados y permite seleccionar aquellos genotipos mas adaptados a las diversas condiciones ambientales. Requiere de mayor complejidad matemática y tiempo de computación pero su información que genera compensa ampliamente tales inconvenientes.

Los resultados obtenidos en algunas investigaciones tienden a señalar que es importante tomar en cuenta, de alguna manera, este planteamiento. En un trabajo con ganado de leche en Cuba (en preparación para su publicación), Menéndez obtuvo que al seleccionar los mejores 30 sementales según su valor genético en “ambiente favorable” y los mejores 30 en “ambiente desfavorable”, sólo 12 se mantenían como los mejores en ambos ambientes. El estudio permitió detectar dos patrones de comportamiento muy diferentes: unos sementales mostraban una gran sensibilidad a los cambios en las condiciones ambientales representadas por el nivel de producción del rebaño, son los denominados como categoría de

genotipos “plásticos”. Por el contrario, otro grupo de sementales presentaban un patrón de respuesta prácticamente lineal, es decir, un patrón de comportamiento en el que no se presentan variaciones en toda la heterogeneidad de ambientes y estos genotipos se denominan “estables o robustos”. Estas diferencias son de origen genético y están relacionadas con la capacidad de adaptación a ambientes heterogéneos.

Esto implica que se debe tener presente en la recomendación del tipo de semental a usar, las características propias de la variable en consideración así como el sistema de producción donde será utilizado.

En la Figura 2 se puede visualizar de manera esquemática lo que se ha planteado, basándose en los resultados obtenidos en el estudio con lactancias en ganado bovino de Cuba, con una clara evidencia de comportamiento diferente de los genotipos en distintos ambientes.

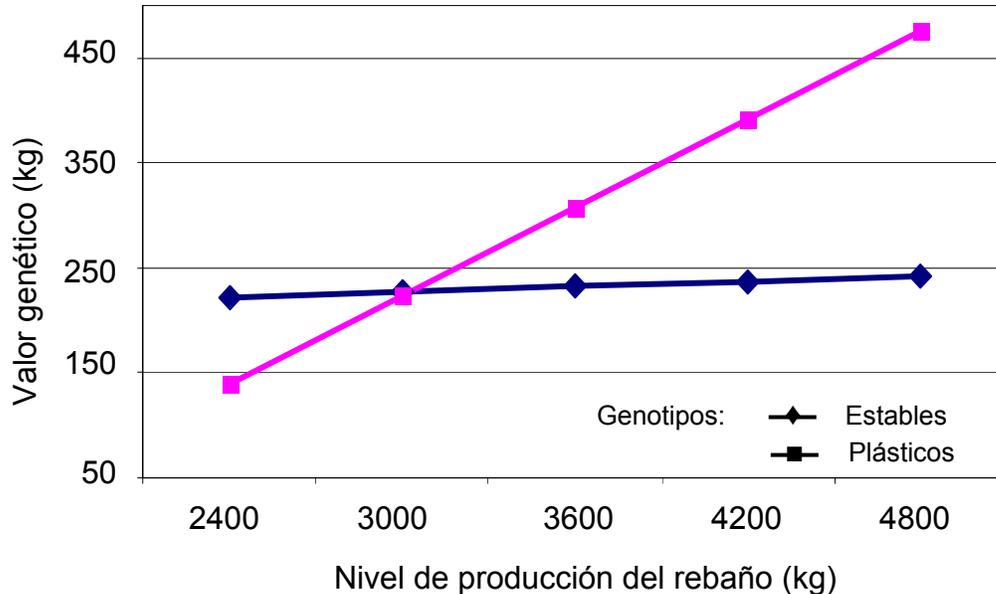


Figura 2. Valor genético de dos tipos de sementales Holstein en función del nivel de producción del rebaño

V. CARACTERES A CONSIDERAR

Los caracteres a evaluar en un programa de mejoramiento genético deben ser de importancia económica, suficientemente heredables y medibles.

Los principales caracteres a considerar en ganado bovino de carne deben ser la reproducción, la sobrevivencia y el crecimiento, mientras que en bovinos de leche y doble propósito debe agregarse el carácter producción de leche.

Sobre la base de lo antes señalado, y para el caso de la ganadería bovina de carne, además de los caracteres de crecimiento que se pueden evaluar (peso a 205, 365, 548 ó 720 días), se señala la necesidad de evaluar los caracteres reproductivos.

Atencio (1999) ha planteado, en forma muy precisa, la necesidad de evaluar genéticamente los caracteres reproductivos, en atención al impacto que la reproducción tiene en el negocio ganadero. Desafortunadamente, como el mismo lo menciona, los estimados de heredabilidad para los indicadores clásicos de esta característica en la hembra señalan valores muy bajos y se requiere investigar sobre técnicas alternativas que permitan predecir el mérito genético inherente a la fertilidad de la hembra.

En un estudio realizado en ganado Brahman (Verde, 2000), se evaluó la heredabilidad de cuatro características reproductivas:

- Preñez o no de cada hembra nacida en el rebaño (PrN).
- Intervalo entre fecha de inicio de temporada de apareamiento y fecha de parto (IIP).
- Número de hijos producidos hasta los 6 años de edad al parto para cada hembra nacida en el rebaño (N6).
- Producción o no de 3 o más becerros hasta los 6 años de edad al parto para cada hembra nacida en el rebaño (HR).

Se estimaron los índices de herencia para estas características reproductivas, con valores de 0,06 para PrN, 0,17 para IIP, 0,05 para N6 y 0,04

para HR, concluyéndose que sólo IIP mostró un valor de heredabilidad algo importante.

Por otro lado, otra literatura tropical sobre este tema parece no estar disponible. Es por ello que consideramos importante continuar las evaluaciones de estas y otras características reproductivas, con la finalidad de lograr establecer con propiedad un programa de selección eficiente para mejorar en forma sostenida la reproducción de los rebaños bovinos.

Una complicación adicional debe ser expuesta: algunos de estos caracteres se ajustan a una distribución binomial y otros a una distribución multinomial, por lo que se debe proceder a evaluarles con metodologías que superen el inconveniente de la falta de ajuste a la distribución normal de los datos.

VI. CONCLUSIONES

Incrementar la producción y productividad en un rebaño bovino involucra un programa sostenido de mejoramiento ambiental y genético. Para hacer eficiente el programa de mejoramiento genético, debe llevarse registro de las operaciones que se realizan en la finca. En la actualidad, el computador constituye una herramienta valiosa para llevar los controles productivos, pero se hace necesario realizar una evaluación exhaustiva de los datos para poder tomar decisiones sobre bases firmes.

Las metodologías para realizar la evaluación genética de los reproductores han ido mejorando con el tiempo, introduciéndose refinamientos que permiten realizar estimaciones cada vez más precisas. Estas metodologías genético-estadísticas están a disposición de los técnicos y productores de nuestro país. Su utilización en forma rutinaria permitirá realizar los progresos que facilitarán hacer más eficiente el negocio ganadero.

Sin embargo, desarrollar un plan de mejoramiento genético no constituye un paso aislado dentro de una explotación. Se hace necesario desarrollar programas integrales de mejoramiento, que se inicien con una precisa identificación de los

animales, anotación de los eventos productivos que suceden, evaluación sanitaria del rebaño, examen ginecológico y andrológico, eliminación de animales improductivos, creación y división de potreros, introducción de pastos, desarrollo de planes reproductivos y sanitarios permanentes, programa de conservación de pastos, etc. Sin estos subprogramas funcionando, el subprograma genético que se ponga en marcha tendrá reducidas o nulas posibilidades de éxito.

Por otro lado, se requiere continuar estudiando los caracteres a incluir en el programa de selección, con la finalidad de considerar aquellos que reflejen con mejor propiedad la parte económica. En este sentido, no sólo los caracteres de crecimiento deberán ser considerados. Se hace necesario tomar en consideración la reproducción, bien sea en forma separada o combinándola con el crecimiento en un solo carácter.

BIBLIOGRAFÍA

- Atencio, A. 1999. Predicción genética de la fertilidad en la hembra Cebú. Memorias de la I Jornada de actualización de Asocebú. 19 al 21 de mayo de 1999. Hacienda "El Arroyo". Caracas. pp 57-66.
- Boldman, K. G., L. A. Kriese, L. D. Van Vleck, C. P. Van Tassell y S. D. Kachman. 1995. A manual for use of MTDFREML. A set of programs to obtain estimates of variances and covariances (Draft). United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. Clay Center. NE. 114 pp.
- Gilmour, A. R., B. R. Cullins, S. J. Welham y R. Thompson. 2000. ASREML. Reference Manual. NSW Agriculture, Locked Bag, Orange, NSW 2800, Australia.
- Henderson, C. R. 1948. Estimation of general, specific and maternal abilities. Ph. D. Thesis. Iowa State University.
- Johansson, I. y J. Rendel. 1968. Genetics and Animal Breeding. W. H. Freeman and Company. 489 pp.

- Plasse, D. 2006. Selección de toros para la producción de carne según una moderna estimación del valor genético. En: R. Romero, J. Salomón y J. De Venanzi (Eds.). XXI Cursillo sobre Bovinos de Carne. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias Veterinarias. Maracay, Venezuela. pp 139 - 166.
- Rice, V. A., F. N. Andrews, E. J. Warnick y L. E. Legates. 1967. Breeding and Improvement of Farm Animals. Sexta edición. Mc Graw-Hill Book Company. 477 pp.
- Verde, O. 2000. Caracteres reproductivos a considerar en un programa de evaluación genética para bovinos de carne. Memorias del X Congreso Venezolano de Zootecnia. 29 Noviembre a 01 de Diciembre de 2000. Guanare. Estado Portuguesa. pp 250-255.
- Verde, O. y D. Plasse. 1992. Utilización de los registros de producción para la evaluación genética de bovinos de carne y de doble propósito. En: D. Plasse, N. Peña de Borsotti y J. Arango (Eds.). VIII Cursillo sobre Bovinos de Carne. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias Veterinarias. Maracay. Venezuela. pp 201-213.