

Mejoramiento genético de características de conformación en ganado Holstein

José Moro Méndez *
Felipe de Jesús Ruiz López **

Abstract

At present it is considered that conformation traits of dairy cattle are associated to length of productive life, as these traits have been regarded as important predictors of herd life. This review presents the results of the most important studies that have analyzed the relationship between both conformation and milk production in Holstein cattle. Estimates of genetic parameters of conformation traits are summarized. Additionally, it describes the characteristics of classification systems that have been used most frequently in countries with an important milk industry, and an analysis of genetic evaluations of conformation traits performed in Mexico. Some necessary actions to the future development of Mexican genetic evaluations of dairy cattle conformation traits are also proposed.

Key words: CONFORMATION TRAITS, GENETIC EVALUATION, GENETIC PARAMETERS, HOLSTEIN CATTLE.

Resumen

Actualmente se considera que en el ganado lechero los rasgos de conformación están asociados a mayor vida de hato y a una mayor producción de leche de por vida. El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de las principales investigaciones que han analizado la relación entre los rasgos de conformación y productivos en ganado Holstein. Se presenta un resumen de los principales estimadores de parámetros genéticos generados por diversos autores. Además, se analizan las evaluaciones genéticas realizadas en México y se plantean algunas perspectivas del futuro mejoramiento genético para rasgos de conformación del ganado Holstein mexicano.

Palabras clave: CARACTERÍSTICAS DE CONFORMACIÓN, EVALUACIONES GENÉTICAS, PARÁMETROS GENÉTICOS, GANADO HOLSTEIN.

Introducción

Desde principios de siglo, los criadores de ganado Holstein comenzaron a poner mayor énfasis en el mejoramiento genético del rendimiento en leche, por lo que hasta hace algunos años la evaluación de los sementales se efectuaba casi exclusivamente tomando

en cuenta este aspecto de sus hijas. Estos criterios de selección, apoyados por sistemas bien organizados de registro de información, como la producción de equipos de cómputo más poderosos y la generación de la teoría de mejoramiento animal, han dado por resultado que en los últimos 30 años el incremento de la producción de leche de la raza Holstein sea de casi 3000 kg de leche,

Recibido el 2 de febrero de 1998 y aceptado el 7 de septiembre de 1998.

* Departamento de Genética y Bioestadística, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D. F.

** Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Km 1 carretera a Colón, 76280, Ajuchitlán, Querétaro.

de los cuales 2500 se han atribuido al efecto de la selección.¹

Investigadores y criadores notaron que conforme la intensidad de selección sobre la producción de leche por lactancia se incrementaba, algunas características físicas de las vacas resultaban afectadas. Por ejemplo, las ubres se tornaban pendulosas en las vacas con altas producciones, lo que en muchos casos era motivo de desecho.² Por otro lado, se ha documentado la correlación genética entre el conteo de células somáticas y rasgos de conformación, y se ha llegado a concluir que el mejoramiento genético de algunos rasgos de conformación de la ubre tiene un efecto positivo en la presentación de conteos bajos de células somáticas, y por ende, sobre la salud de la glándula mamaria.^{3,4} En este sentido, Lund *et al.*⁵ indican que existe cierta predisposición a mastitis en vacas con ligamento medio suspensorio débil y ubres muy profundas, mala colocación de tetas delanteras, débil inserción trasera de la ubre y tetas largas, aunque encontraron correlaciones genéticas bajas entre mastitis clínica, conteo de células somáticas y rasgos de conformación.

Factores como los que se mencionan pueden ocasionar que la vida productiva dentro del hato de esas vacas sea corta, lo que disminuye la eficiencia productiva de por vida e incrementa los costos de operación,⁶ por lo que se comenzó a poner atención no sólo en la selección para producción de leche por lactancia sino también en la rentabilidad de por vida. Actualmente la producción de leche por lactancia y la vida de hato son consideradas como características productivas que deben ser incluidas como principal objetivo en los programas de mejoramiento genético del ganado Holstein.^{7,8,9} Así, el mejoramiento genético de los bovinos lecheros tiende a efectuarse con base en una selección de múltiples características que incluyen tanto rasgos productivos como de conformación con el propósito de hacer selección de animales con altas producciones de leche y de sus componentes; además es importante que posean características de conformación que les permitan permanecer mayor tiempo dentro del hato productivo para ser más rentables.^{10,11,12,13,14}

La rentabilidad de por vida es un rasgo que está directamente influido por características productivas como la producción de leche por lactancia, la edad al primer parto y el intervalo entre partos, así como por aspectos no productivos, como el estado de salud, las fallas reproductivas, el manejo, los problemas de ubre, los costos de alimentación y el precio de la leche.^{13,15,16} Un sistema de producción se puede beneficiar con vacas longevas de dos modos: si una alta proporción de vacas sobrevive a la madurez, se requieren menos remplazos; por otro lado, con más vacas longevas el promedio de edad del hato será más elevado, y así más vacas estarán produciendo a una edad madura.² Sin embargo, el hecho de mantener más vacas por más tiempo en un hato puede reducir la ganancia genética anual, a menos que los remplazos que ingresen al hato sean animales genética-

mente superiores o se tengan crías mejores de esas vacas para cubrir las bajas. Actualmente se considera que una vaca rentable es aquella que produce grandes cantidades de leche y que se mantiene funcional durante muchas lactancias,¹⁷ por esto es recomendable buscar un balance para mantener vacas longevas en el hato y obtener altas producciones de leche de por vida.

Diversos autores han realizado intentos por identificar rasgos individuales de conformación que se encuentren relacionados con la variación de la vida productiva de las vacas, de tal manera que sea posible seleccionar características que sirvan como predictores de la producción de leche de por vida.^{8,10,11,14,18,19,20}

La capacidad de mejorar los rasgos de conformación está en función de la habilidad de hacer evaluaciones precisas de los sementales según las características, esta habilidad depende de la forma en que éstas se midan. Sólo desde hace 15 años se cuenta con evaluaciones objetivas de sementales, dado que las escalas utilizadas por la mayoría de las asociaciones de criadores para clasificar los rasgos de conformación de las vacas hasta alrededor de 1982, no eran adecuadas para la predicción de valores genéticos confiables de sementales, porque eran escalas subjetivas donde se buscaba calificar a las vacas con base en un tipo ideal. Fue hasta finales de la década de los 70 y principios de la década de los 80, cuando se discutió la conveniencia de diseñar una escala que fuese menos susceptible de sesgo.

Por la importancia que tienen los rasgos de conformación en la producción de leche en el ganado Holstein y la necesidad de realizar estudios sobre estas características en México, el objetivo de este trabajo fue revisar la información que se ha generado en relación con las evaluaciones genéticas de conformación que puedan servir como marco de referencia para la realización de trabajos con la finalidad de realizar estimaciones de parámetros y evaluaciones genéticas de esos rasgos en el ganado Holstein mexicano.

Mejoramiento genético del ganado Holstein en México

En México, desde hace varios años, los sistemas especializados en producción de leche han incorporado material genético superior a sus hatos, con lo que se busca aprovechar la intensa selección a la que es sometida la población bovina de países desarrollados, principalmente Canadá y Estados Unidos de América. Sin embargo, a pesar del impacto de este aporte, hasta el momento son pocos los estudios realizados con el objeto de cuantificar el progreso genético alcanzado. Al respecto, Avendaño²¹ estimó en 74 ± 56 kg la tendencia genética para producción total de leche a partir de vacas Holstein bajo el control de producción de la Asociación Holstein de México (AHM). Esa tendencia genética es inferior a los 87 kg de leche anual que estimaron Powell y Wiggans.²² Avendaño también estimó el promedio de la diferencia

predecible para leche y conformación de acuerdo al origen de los sementales, encontrando que para producción de leche fue de 360 kg para los sementales estadounidenses y de 29 kg para los sementales canadienses, en tanto que para conformación, el promedio de diferencia predecible fue de 0.76 y 4.23, respectivamente.

En México, los trabajos enfocados a estimar parámetros genéticos en ganado Holstein también son escasos. En relación con la producción de leche, se han descrito heredabilidades entre 0.15 y 0.57,^{23,24,25,26} la repetibilidad del mismo rasgo y del periodo interparto tienen valores de 0.52 y de 0.09, respectivamente.²⁷ Más recientemente, en un estudio²⁸ en el que se usaron 47672 lactancias de 21651 vacas (54%, 27% y 19% hijas de sementales estadounidenses, canadienses y mexicanos, respectivamente) se encontró que en México, la duración de vida productiva de las vacas de acuerdo al origen de su padre es de 1.95, 2.38 y 1.93 lactancias, para hijas de sementales estadounidenses, canadienses y mexicanos, respectivamente. Sin embargo, no puede asegurarse que la selección realizada sobre los sementales de inseminación artificial usados en México, sea la única explicación por la cual sus hijas mexicanas muestran una vida productiva más larga.

Por otro lado, existen datos en los últimos años que indican que una proporción muy pequeña de los bovinos importados tienen registro,* siendo que estos animales son usados, entre otros fines, para el fomento del mejoramiento genético de los bovinos del país. Aunque el registro de los animales no es una constancia de que posean alguna evaluación genética, la utilización de estos animales importados sin registros como pie de cría, conlleva la posibilidad que se utilicen como progenitores a animales sin evaluaciones genéticas en su país de origen, lo cual representa un serio problema para la industria pecuaria nacional.

En México, la AHM ha realizado evaluaciones genéticas para conformación de ganado Holstein, utilizando información de calificaciones que se han generado desde marzo de 1961 en algunas vacas registradas. A partir de 1994, las calificaciones se realizan bajo un sistema de calificación modificado, con el objeto de seguir las recomendaciones de la Federación Mundial Holstein Friesian y del Comité Internacional de Registros de Producción Animal (WHFF e ICAR, respectivamente), mismas que establecen la existencia de 12 características principales y 2 secundarias en un sistema lineal de calificación. Esta información de conformación de ganado Holstein es susceptible de ser utilizada en la estimación de parámetros genéticos que permitan

realizar evaluaciones, tanto de las vacas, como de los sementales utilizados en las explotaciones lecheras mexicanas, con el objeto de formar una base para la selección de animales altamente productivos, funcionales y mejor adaptados a las características del sistema especializado en producción de leche en México.

Características de conformación en ganado lechero y escalas utilizadas para su calificación

La calificación de las características de conformación ha favorecido la identificación de sementales con posibilidad de producir hijas con aspectos de conformación que les permitan tener una vida productiva más larga.^{10,11,29} Por esta razón en muchas asociaciones de ganado se realizan calificaciones de conformación, como es el caso de las asociaciones de raza Holstein de Canadá y Estados Unidos de América, que desde 1925 y 1929, respectivamente, han mantenido registros de estas características.¹⁴

En los primeros años de su aplicación, la calificación de conformación consistía en descripciones físicas que se aplicaban únicamente a las vacas registradas. El sistema era subjetivo porque se basaba en la calificación de las vacas considerando la cercanía o lejanía a un tipo ideal. Así, este sistema no permitía realizar una comparación precisa entre las diferencias de las calificaciones o evaluaciones de vacas o toros. En Estados Unidos de América, el sistema consistía, desde 1929, en clasificación de 4 aspectos: apariencia general, carácter lechero, capacidad corporal y sistema mamario, además de una clasificación final.¹⁴ En Canadá el sistema consistía en la evaluación subjetiva de 27 características de conformación cuyo rango abarcaba 3 niveles (regular, bueno, excelente).³⁰

Para eliminar la subjetividad en la clasificación de las vacas se comenzaron a modificar los sistemas utilizados, de modo que se buscó evaluar desde un punto de vista biológico, la expresión fenotípica de los rasgos de conformación utilizando escalas lineales. Al considerar un rasgo de un extremo biológico al otro, estas escalas eliminaron el sesgo debido a la apreciación del calificador, que en el sistema subjetivo podía introducirse en las evaluaciones de las vacas. Puede decirse que el tipo ideal cambió a ser un tipo funcional, que representa las características óptimas de conformación para la raza Holstein.

En 1978 se introdujo en Canadá un sistema biológico lineal, mediante el cual se calificaban 28 rasgos en una escala del 1 al 9, con una calificación final de 60 a 100 puntos. Desde 1983 se introdujo un Programa de Calificación Mejorada que incluye la medición objetiva de algunos rasgos, como la estatura, la longitud de pezones, la anchura y la altura de la ubre.^{31,32}

En 1967 se registraban en Estados Unidos de América, 11 rasgos bajo el sistema subjetivo, y desde 1983, la

* De 1992 a 1995 se importaron a México 564 480 bovinos, de los cuales 4 748 fueron clasificados como de "alto registro" o pedigree, según datos de la Dirección de Estudios Económicos y Comercio Internacional de la Confederación Nacional Ganadera en su boletín de abril de 1996, página 51.

Asociación Nacional de Criadores (NAAB) de ese país adoptó una escala lineal que sustituyó a la anterior escala.¹⁴ Este cambio también incluyó la calificación de las vacas "grade" o sin registro además de las registradas. Este nuevo sistema lineal consistió en la medición de 18 características en una escala del 1 al 50 y una calificación final de 50 a 100 puntos.³³ Poco después, el comité de la NAAB encargado de la estructuración de una escala lineal, propuso la reducción del número de características evaluadas a 14 sobre una base de 50 puntos.^{14,34}

Canadá y Estados Unidos de América, además de ser los principales exportadores de material genético a México, son los países donde se ha realizado un mayor esfuerzo en la selección para producción de leche y conformación. Canadá fue de los primeros países donde se realizó la evaluación y selección del ganado Holstein con base en pesos aproximados de 1:1, para producción y conformación, lo que puede ser, entre otros factores, una de las causas por la que la tendencia genética para producción de leche sea menor a la tendencia lechera de Estados Unidos.* Por otro lado, puede apreciarse que algunas características asociadas a los rasgos de conformación, como la longevidad o la vida productiva, en el caso del ganado canadiense, son mayores. Si esta característica está correlacionada con la longevidad, esta puede ser la causa por la que las vacas hijas de sementales canadienses, en México muestran 0.33 lactancias más que las vacas hijas de sementales estadounidenses criadas en México.

En Estados Unidos de América, la selección para el ganado Holstein ha sufrido cambios en los últimos 20 años; estos cambios revelan un gran interés por balancear la selección de mayores producciones de leche, con mejor conformación, lo que les permite a las vacas alcanzar un mayor número de lactancias de por vida^{31,35} (Cuadro 1). En el Cuadro 1 se puede apreciar que el índice de selección estadounidense (TPI) de 1997, incluye, además de las diferencias predichas para los rasgos del índice anterior, un término compuesto para ubres y otro para patas, con lo que se pone de manifiesto el interés por la selección de algunos rasgos de conformación que se han asociado a longevidad y mayor vida de hato.

En otros países también han ocurrido cambios en las escalas utilizadas. En Francia, la Asociación Holstein empezó a calificar, en 1986, 15 características.¹² Un número similar al que se comenzó a calificar desde 1982 en Alemania.³⁶ La Sociedad de Ganado Friesian Británico, de Gran Bretaña e Irlanda, ha calificado desde 1983, 16 rasgos y un puntaje final de 10 a 99.^{29,37} Todas las calificaciones anteriores se realizan con una escala de 1 a 9.

Cuadro 1
CAMBIOS EN LPI (CANADÁ) Y TPI (ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA) EN LOS ÚLTIMOS 20 AÑOS

<i>Año</i>	<i>LPI (Canadá)</i>	<i>TPI (Estados Unidos de América)</i>
1977	No había índice	Relación de 1:1.5 entre PDP y PDT
1987	No había índice	[2(PDP/19) + 2(PDF/22.5) + (PDT/.7)]50 + 234
1991	6 (6 proteína + 5 grasa) + 4 (3 clase final + 4 sistema mamario + 2 piernas y patas + capacidad)	[2(PTAP/19) + 2(PTAF/22.5) + (PTAT/.7) + (UDC/1)] 50 + 234
1997	7 [6 (2F/sd + 9P/sd) + 4 (1 CONF/sd + 1 FrC/sd + 4 FL/sd + 5 MS/sd)]	[3(PTAP/19) + 1(PTAF/22.5) + 1(PTAT/.7) + .65(UDC/.8) + .35(FLC/.85)]50 + 576

LPI (*Lifetime profit index*) es un índice de selección desarrollado en 1991, aunque publicado hasta julio de 1992, que tiene dos componentes principales: producción y conformación (longevidad). F= EBV grasa ; P= EBV proteína ; CONF= EBV conformación ; FrC= EBV estructura y capacidad ; FL= EBV patas y piernas ; MS= EBV sistema mamario ; sd= desviación estándar genética del rasgo ; EBV= valor genético estimado. (Holstein Association of Canada, 1977, 1987, 1991, 1997).

TPI (*Type-production index*) es un índice de selección para múltiples características que sirve para ordenar a los toros de acuerdo a su habilidad para transmitir un balance de las características que incluye PDP= diferencia predicha para leche; PDT= diferencia predicha para tipo; PDF= diferencia predicha para grasa; PTAP= habilidad de transmisión predicha para proteína ; PTAF= habilidad de transmisión predicha para grasa; PTAT= habilidad de transmisión predicha para tipo; UDC= compuesto para ubres y FLC= compuesto para patas y pezuñas (Holstein Association USA, 1977, 1987, 1991, 1997).

Comparación de las escalas subjetivas y biológicas lineales

Una desventaja de la escala subjetiva es que los estimadores no podían ser comparados de una población a otra. Uno de los primeros trabajos que intentaron destacar las ventajas de la evaluación de conformación, usando una escala biológica contra las antiguas evaluaciones subjetivas, fue el de Thompson *et al.*,³⁸ quienes estimaron parámetros genéticos para 18 características de conformación (escala del 1 al 50) de 9054 registros de vacas Holstein, y los compararon con aquellos estimadores obtenidos a partir de programas de calificación donde se calificaba a las vacas sobre un ideal. En este trabajo se concluye que los estimadores de heredabilidad para las características lineales fueron un poco más altos que los de las características evaluadas sobre un ideal, lo que se atribuye a la ampliación del

* M. Sc. Ignacio Mondragón Vázquez, Semex-Alliance, comunicación personal.

rango de calificación logrado con la escala objetiva. Además, los autores recomendaron el uso de la escala lineal considerando que las correlaciones obtenidas permiten hacer mejores interpretaciones de las relaciones entre características.

En otro trabajo, Vinson *et al.*³⁸ buscaron medir la relación entre la escala subjetiva y la escala lineal de la Asociación Holstein de Estados Unidos de América, mediante la relación entre la escala lineal y las medidas físicas en vacas Holstein, y la evaluación de las diferencias que existían entre sus calificaciones. Estos autores encontraron que la escala lineal pudo distinguir con razonable precisión las diferencias existentes entre los rasgos de conformación. Los autores estimaron correlaciones entre las medidas físicas y las calificaciones lineales desde 0.45 hasta 0.97, con la mayor parte de estos valores por arriba de 0.70. Adicionalmente encontraron que la relación entre las medidas físicas y la calificación lineal fue homogénea entre calificadores.

Por otra parte, en otro trabajo³⁹ se estimaron parámetros genéticos de 60 características de conformación, medidas tanto de modo subjetivo como lineal en 7375 vacas Holstein en su primera lactancia entre 1972 y 1980. Las heredabilidades estimadas están en un rango de 0.03 (profundidad de talón) a 0.26 (anterior de ubre), y las correlaciones genéticas desde -0.35 (entre longitud de tetas traseras y longitud de cabeza) hasta 0.84 (entre altura y longitud de cabeza). Los autores reconocieron que eran muchas características para incluir en un programa de mejoramiento genético, por lo que recomendaron reducir el número de características calificadas a un número de entre 10 y 15, sin mencionar cuáles.

Schaeffer *et al.*⁴⁰ plantean otra ventaja de los esquemas biológicos de calificación lineal al evaluar el uso por una empresa de inseminación artificial (escala de 1 al 9). Sus resultados los compararon con los de Thompson *et al.*⁴¹ (escala de 50 al 99), con los de Edlun *et al.*⁴² (escala de 1 a 9) y los de Thompson *et al.*³³ (escala de 1 a 50), y encontraron que pese a diferir en el rango de puntuación, los diferentes sistemas de calificación lineal presentaban buena congruencia. Los autores concluyeron que la evaluación genética de los toros de acuerdo a la conformación de sus hijas, será independiente de la escala que se utilice.

En un trabajo cuyo objetivo fue evaluar los sistemas lineales que comenzaban a ser adoptados a principios de la década de los 80, Thompson *et al.*⁴¹ utilizaron la información de la NAAB para hacer una estimación de parámetros genéticos de 14 características (escala de 50 a 99). Los autores concluyeron que esta escala lineal permitía realizar la interpretación biológica de las relaciones entre características, además, enfatizaron que la experiencia del calificador haría que estos estimadores de heredabilidad fuesen más altos al reducir la varianza residual. Con estos trabajos iniciales, pudo apreciarse que el sistema lineal ofrecía evaluaciones más objetivas de vacas y sementales, al permitir la estimación de

componentes de varianza de efectos genéticos aditivos, por lo que comenzó a incrementarse su uso, incluso en asociaciones de otras razas diferentes a la Holstein, como es el caso de la estimación de componentes de varianza en ganado Jersey para 13 características de conformación con una escala de 50 a 99 puntos, realizada por Thomas *et al.*⁴³

Homologación de la escala biológica lineal

Los rangos de las escalas lineales han variado desde 1 a 9 puntos hasta rangos de 50 a 100 puntos para calificar desde 11 hasta 27 rasgos diferentes. En este sentido, se han realizado investigaciones con el objeto de determinar cuáles son las características que tienen valores de heredabilidad suficientemente altos para ser consideradas dentro de los programas de mejoramiento, y que además tengan altas correlaciones entre sí, lo cual permitiría eliminar algunas de ellas de la calificación.³⁷

Otros estudios,^{31,32,44} al igual que los mencionados anteriormente, han sido la base de los intentos por homologar o armonizar la calificación de conformación y se han enfocado principalmente a definir cuáles serían las características más adecuadas para calificar, dejando una mayor flexibilidad en la elección de los rangos de las escalas, ya que, como se dijo anteriormente, se ha demostrado que no existen diferencias significativas en la evaluación de animales por efecto de la escala.⁴⁰ En este sentido, tanto la WWHF como el ICAR han determinado la utilización de 12 características de conformación principales (estatura, profundidad de cuerpo, ángulo del anca, ancho del anca, aplomos de patas traseras vistas lateralmente, ángulo de pezuñas, inserción de ubre anterior, ubre posterior, ligamento medio suspensorio, profundidad de ubre, posición de tetas anteriores y tamaño de tetas anteriores) y dos rasgos secundarios (anterior de pecho y angularidad). Las características principales se eligieron por satisfacer, entre otras, las siguientes condiciones: son sencillas, tienen importancia económica, son heredables, existe la posibilidad de medición además de la calificación y muestran variación en la población.⁴⁵

Importancia de las características de conformación en la predicción de la longevidad

Respecto a la asociación entre conformación y longevidad, el de Burnside *et al.*² es uno de los principales trabajos que ha realizado un análisis más profundo de las conclusiones de estudios acerca de la influencia de las características de conformación sobre la longevidad de las vacas. Estos autores revisaron 30 trabajos publicados de 1963 a 1982 y su análisis resaltó las divergencias entre las conclusiones de los diferentes trabajos, que en

esos años iban desde la negativa a considerar que los rasgos de conformación fueran un buen indicador de la permanencia en el hato,⁴⁶ hasta aquellas conclusiones de trabajos realizados poco después, los cuales señalaban que estas características pueden considerarse como predictores confiables de tal rasgo.²⁹ Sin ser concluyentes, Burnside *et al.*² sugirieron que la clasificación de toros de acuerdo a la conformación, tiene poco efecto sobre la predicción de la longevidad de las vacas; sin embargo, reconocieron que la selección de vacas; con altas producciones sin hacer énfasis sobre el ligamento medio suspensorio, puede predisponer la aparición vacas con ubres colgantes, y el consecuente incremento de la eliminación de vacas del hato.

Puede decirse que hasta mediados de la década de los 80 los trabajos de investigación sobre rasgos de conformación se enfocaron al estudio de las características de los sistemas de calificación, a la evaluación de sus desventajas y a un análisis preliminar de la relación de estas características con la longevidad. Desde entonces y hasta la actualidad, los trabajos en este tema pueden dividirse, de modo arbitrario, en estudios que buscan profundizar en el análisis de la asociación entre componentes de conformación y longevidad, la estimación de parámetros genéticos para evaluar toros y vacas, y de modo paralelo, el desarrollo de mejores métodos y modelos para hacer evaluaciones más precisas, buscando criterios de selección óptimos para conformación y producción de por vida.

En general, la situación contradictoria detectada en la revisión hecha por Burnside *et al.*,² en lo que se refiere a la relación entre características de conformación, producción de leche y algunos rasgos de longevidad, como la producción de por vida, persiste hasta finales de los 80 cuando comienzan a elaborarse trabajos con un mayor volumen de información. Esta situación sugiere que el uso de bases de datos de reducido volumen fue una de las posibles razones por la que se produjeron las versiones contradictorias mencionadas.

En 1985, Meyer *et al.*⁴⁴ estimaron componentes de varianza de 27 rasgos de conformación con 18,132 registros de la primera calificación (escala 50 a 100) de vaquillas Holstein australianas y predijeron valores genéticos para sus padres. En este trabajo los autores concluyeron que estas evaluaciones de los toros eran un buen predictor de los valores genéticos para características de conformación de sus hijos e hijas; sin embargo, como en otros estudios, se encontró que la correlación genética entre las características de conformación y la producción de leche en la primera lactancia de sus hijas era muy pequeña.

Meyer *et al.*,²⁹ con datos de la Sociedad Británica de ganado Friesian, analizaron registros de 16 características lineales de conformación (escala de 1 a 9) de 18 939 vacas de primera lactancia, y 13 192 vacas de segunda lactancia, para estimar correlaciones genéticas y fenotípicas entre conformación y producción de leche, encontrando que, en general, las correlaciones genéticas

entre conformación, producción y composición de leche fueron muy variables, en un rango de -0.52 a 0.24 y concluyen que las características lineales no son útiles en la predicción de la producción de leche.

Por otro lado, Smith *et al.*,³⁹ tras analizar la relación entre las características de conformación y la habilidad de las vacas para permanecer mayor tiempo en el hato, notificaron que la longitud intermedia de las tetas delanteras son un buen predictor de ese rasgo de vida productiva.

Foster *et al.*¹⁹ realizaron uno de los primeros análisis con un gran volumen de información (43 428 vacas de primera lactancia) de 18 características (escala de 1 a 50), con el objeto de determinar las relaciones entre estos rasgos y la desviación de producción de leche y grasa de esas vacas respecto a sus contemporáneas. Estos investigadores encontraron que las vacas con mayor angularidad o con ubres muy profundas, tienen una desviación positiva de 1276 y 1167 kg de leche, respectivamente; una mayor vida de hato de 90 y 59 días más, respectivamente, al compararlas con sus contemporáneas. Con una relación moderada con respecto a estas tres variables dependientes ubican a la estatura, y señalan, aunque son cautos en sus conclusiones, que pese a ser importante la selección sobre características de conformación evaluadas linealmente, ésta no sustituirá a la selección directa sobre la leche o sus componentes.

Por otra parte, Rogers y McDaniel⁴⁷ buscaron determinar la utilidad y énfasis que debería darse a la producción de leche, profundidad de ubre, colocación de tetas y ángulo de patas medidas en la primera lactancia dentro de un programa de selección de ganado lechero cuyas metas fueran incrementar la producción y reducir el desecho involuntario. Para este fin, evaluaron 5 alternativas utilizando la teoría de índice de selección, en las que modificaron los estimadores de correlaciones genéticas y fenotípicas utilizadas. Los autores encontraron que la inclusión de profundidad de ubre, colocación de tetas y el ángulo de patas en un índice de selección para mejorar el ganado lechero comercial, resulta en pequeños incrementos de eficiencia neta, aunque concluyen que el mayor beneficio está en la disminución del desecho involuntario, que según los autores está asociado con la reducción de la producción de leche, cuando no se consideran estas características de conformación en un programa de mejoramiento.

Más recientemente, se ha buscado estimar las correlaciones genéticas y fenotípicas entre las calificaciones de conformación y algunos rasgos de vida productiva, como son la sobrevivencia a la segunda, tercera y cuarta lactancia en vacas de registro^{10,11}. Los mismos autores además extendieron el análisis para relacionar la sobrevivencia de las vacas de registro y sin registro dentro de la población con las pruebas de progenie para características de conformación de sus padres.¹¹ Para el primer trabajo se utilizaron 23 071 registros de vaquillas registradas y calificadas de 1983 a 1984, para 16

características de conformación, además de sus registros de producción de leche ajustada a 305 días. Los autores encontraron que las correlaciones genéticas entre rasgos de conformación y las características de sobrevivencia fueron más altas, que las existentes entre conformación y producción (hasta 0.4).¹⁰ En el segundo estudio¹¹ los mismos autores buscaron la relación entre características de conformación y sobrevivencia a la segunda, tercera y cuarta lactancias de vacas con y sin registro. En este trabajo, encontraron una asociación positiva entre sobrevivencia y angularidad, inserción delantera y profundidad de ubre, con lo que concluyen que la sobrevivencia dentro del hato puede predecirse, aunque no con mucha precisión, usando características de conformación. Cabe señalar que este tipo de estudios no son frecuentes en la literatura sobre el tema, debido a la difícil definición de las variables de respuesta que se buscaron para determinar la longevidad.

Short y Lawlor¹⁴ estimaron parámetros genéticos para características de conformación y mediante correlación investigaron 5 características de vida productiva: presencia o ausencia de un segundo parto, 54 y 84 meses de edad, vida de hato verdadera (los meses del primer parto al último registro oficial de producción) y vida de hato funcional (la vida de hato verdadera ajustada por producción de leche en la primera lactancia), con las calificaciones lineales y la producción de leche en el primer parto; además compararon la respuesta a la selección utilizando varios índices, usando los parámetros estimados. Para este trabajo se utilizó la información de 14 rasgos de conformación medidos en una escala de 50 puntos de 12 8601 vacas, y se encontró que las características de vida productiva tienen baja heredabilidad con valores menores a 0.10. Estos valores y los largos intervalos generacionales hacen que la selección directa sobre vida productiva no sea práctica para los programas de mejoramiento genético. Sin embargo, se encontraron correlaciones genéticas moderadas entre las características de vida productiva y algunas de conformación, por lo que sugieren que la selección en el primer parto para algunas características de conformación como ubre, y en menor grado patas, puede contribuir con el mejoramiento de la duración de la vida productiva.

En este sentido, se han encontrado más ventajas en el uso de las características de conformación para estimar la permanencia en el hato productivo. El estudio de Boldman *et al.*⁴⁸ se derivaron factores de ponderación para predecir la vida productiva en el hato promedio, mediante la calificación lineal de 18 características de hijas de sementales. Asimismo, se determinó la confianza de tal predicción indirecta, usando 53 830 hijas *grade* de 917 toros. Las dos mediciones de vida productiva que usó fueron vida de hato funcional (habilidad para retrasar el desecho involuntario) y vida de hato real (habilidad para retrasar el desecho voluntario e involuntario) que fueron definidas por Ducrocq *et al.*⁴⁹ Los autores encontraron altamente factible la predicción de la vida productiva a partir de conformación, lo cual es

más práctico, ya que las características de conformación pueden estar disponibles a temprana edad, lo que no ocurre con las mediciones de la permanencia de las vacas en el hato productivo.

En general, los trabajos mencionados ofrecen evidencias del cambio en la percepción sobre la importancia de las características de conformación. Este cambio consiste en las sugerencias de agregar dentro de la selección de ganado lechero, algunas características de conformación,⁵⁰ lo que se sabe puede reducir el desecho involuntario por causas no relacionadas con el rendimiento lechero. Esta disminución del desecho involuntario, puede incrementar los días que las vacas permanecen productivas dentro del hato.

También se puede percibir que los avances importantes en el estudio de las relaciones entre conformación y longevidad, fue la inclusión de un volumen mayor de información, así como la incorporación en los modelos de análisis de otras características de vida productiva, asociadas más directamente con la longevidad y rentabilidad.

En esta línea también destacan trabajos como el de Klassen *et al.*⁸, quienes usaron un total de 17 6778 calificaciones de conformación registradas de 1981 a 1986 en vacas Holstein en Canadá, examinaron las correlaciones genéticas y fenotípicas entre producción de leche, grasa y proteína acumulada de por vida, ingreso de por vida por concepto de venta de leche sobre los costos de alimentación, días en leche de por vida y número total de lactancias con 28 características lineales de conformación. Las correlaciones fenotípicas estimadas están dentro del rango de 0.15 a 0.20 entre la mayoría de las características de conformación y las características de producción de por vida; por otro lado, las correlaciones genéticas más fuertes entre producción de por vida y rasgos de conformación las describieron con angularidad (0.44 a 0.55) y carácter lechero (0.53 a 0.56).

Parámetros genéticos de rasgos de conformación notificados

Con las anteriores evidencias se puede apreciar el impacto que la conformación de las vacas tiene sobre otras características productivas como la longevidad. Adicionalmente a estos estudios se han realizado estimaciones de componentes de varianza con los cuales se calculan parámetros genéticos para las características de conformación. En los Cuadros 2 y 3 se resumen algunos de los principales estimadores de heredabilidades y correlaciones genéticas y fenotípicas obtenidas por diversos autores.

En el Cuadro 2 puede observarse una amplia variación en las heredabilidades, como en la profundidad de cuerpo que presenta valores desde 0.15 a 0.48, o fortaleza del lomo, con un rango de 28 puntos. Sin embargo, se aprecia que en los rasgos de ubre esta variación es más reducida, con los rangos más altos de sólo 6 puntos.

Cuadro 2
HEREDABILIDADES DE LOS PRINCIPALES RASGOS LINEALES DE CONFORMACIÓN

Rasgos	Autores (país)									
	43 (EUA)	40 (CA)	29 (IN)	50 (EUA)	19 (EUA)	37 (IN)	36 (AL)	14 (EUA)	12 (FR)	5 (DI)
CL	0.28	0.31		0.14	0.25		0.29	0.23		0.13-0.23
ES	0.59	0.40	0.44	0.35	0.36	0.54	0.44	0.34	0.47	
PR	0.48		0.42	0.15	0.30	0.36	0.29	0.28	0.36	
AP	0.19		0.27	0.07	0.09	0.18		0.09		
UD	0.28			0.24			0.23			
LM	0.20		0.20	0.11	0.12	0.16	0.29	0.16	0.32	0.12-0.17
CT	0.19			0.21	0.18	0.30	0.33	0.23	0.25	
FO	0.39	0.29		0.11	0.23		0.11	0.22		
ACA	0.25	0.29	0.21	0.13	0.17	0.22	0.21	0.23	0.32	
ANA		0.25	0.33			0.26	0.26	0.29	0.34	
LT			0.26			0.32	0.28		0.30	0.37-0.43
PA			0.28			0.26			0.36	
AN			0.21		0.42	0.22				
PU	0.20		0.20	0.20	0.24			0.25		0.26-0.28
IUA					0.18	0.24	0.19	0.21		0.18-0.20
PF			0.38				0.29		0.26	

CL=carácter lechero; ES=estatura; PR=profundidad; AP=ángulo de patas; UD=ubre delantera; LM=ligamento medio; CT=colocación de tetas; FO=fortaleza; ACA=ancho de anca; ANA=ángulo de anca; LT=largo de tetas; PA=pecho ancho; AN=angularidad; PU=profundidad de ubre; IUA=inscripción de ubre anterior; PF=puntos finales.

En cuanto a las correlaciones genéticas y fenotípicas mostradas en el Cuadro 3, también puede notarse un amplio rango en los valores informados. Esto se observa con mayor grado en las correlaciones genéticas y fenotípicas entre estatura y profundidad (rango de -0.18 a 0.81 y de -0.07 a 0.65, respectivamente). Esta variación entre los valores puede deberse a los diferentes métodos de estimación utilizados.

Métodos de estimación de parámetros genéticos

Los principales métodos de estimación de parámetros genéticos que se han utilizado son el método III de Henderson, estimadores cuadráticos insesgados de mínima varianza (MIVQUE), máxima verosimilitud (ML), y desde la década pasada se han desarrollado algoritmos para estimar componentes de varianza y covarianza, basados en el método de máxima verosimilitud restringida (REML),³² que posee propiedades estadísticas de no negatividad, normalidad asintótica y varianza mínima. Además, dado que bajo ciertas condiciones REML puede tomar en cuenta a la selección cuando se usa en el mejoramiento animal, el uso de REML está presente en un número creciente de estudios. Asimismo, en los diferentes trabajos que se han hecho con el objeto de estimar parámetros genéticos para

características lineales de conformación, se han considerado la inclusión de diversos efectos ambientales dentro de los modelos utilizados (Cuadro 4). Puede notarse que los principales efectos fijos incluidos en los modelos mencionados en la literatura son: hato-clasificador, hato-año, número de parto, estado de la lactancia (días en leche o mes de lactancia), clasificador y edad a la clasificación.

Modelos de evaluación genética

Dos de los principales modelos de evaluación genética del ganado lechero, que se han utilizado en los últimos años son: el modelo semental y el modelo animal. El primero de ellos se basa en el uso de los registros de las vacas para predecir la mitad del mérito genético de sus padres. Este modelo ignora la información que pueda proporcionar la madre de la vaca y cualquier otra relación de parentesco entre hembras, lo que puede ocasionar un sesgo en la evaluación por efecto de apareamientos no aleatorios. Por otro lado, en el modelo animal la precisión de las evaluaciones genéticas puede incrementarse debido a la inclusión de todos los registros disponibles que provean información acerca del mérito genético aditivo del animal, en el que se obtiene la medición; esto es, la inclusión de toda la información de pedigree disponible, lo que adicionalmente permite

Cuadro 3
**CORRELACIONES GENÉTICAS (ABAJO DE LA DIAGONAL) Y FENOTÍPICAS (ARRIBA DE LA DIAGONAL)
ENTRE RASGOS LINEALES POR SISTEMA QUE CALIFICAN. VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS, PROMEDIO
Y ENTRE PARÉNTESIS EL NÚMERO DE TRABAJOS DESCritos**

<i>Rasgos</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
1		-0.07, 0.65 0.17 ⁶	0.09, 0.65 0.30 ⁶	0.09, 0.58 0.74 ²										
2	-0.18, 0.81 0.45 ⁶		0.52, 0.56 0.55 ³											
3	0.08, 0.73 0.47 ⁶	n. d.												
4	0.08, 0.73 0.47 ³	n. d.	n. d.											
5				-0.05, 0.08 0.015 ³										
6				-0.2, -0.08 -0.14 ³										
7					-0.29, -0.21 -0.26 ³									
8					-0.43, 0.40 0.04 ⁴									
9						-0.09, 0.40 0.21 ⁴	-0.08, -0.02 -0.04 ³	0.41 1	0.17, 0.71 0.36 ⁴					n. d.
10						-0.14, 0.63 0.36 ⁵	-0.10, -0.04 -0.07 ²	n. d.	0.20 1					0.08 1
11						-0.17, 0.55 0.14 ³	-0.24, -0.22 -0.23 ²	n. d.	-0.02 1					-0.01 1
12						0.64 ¹	0.27 ¹	0.46 ¹	n. d.					n. d.
13						0.47, 0.93 0.65 ⁴	0.43 1	-0.09 a 0.27 0.053)	0.71, 0.9. 0.82 (2)					n. d.
14						n. r.	0.33 ¹	-0.11 ¹	n. d.					n. d.

Autores: 29, 19; 37, 36, 14; 12. N. r.= no descrito. 1=estatura; 2= profundidad; 3= pecho ancho; 4= lomo; 5= punta del anca; 6= anchura del anca; 7= ángulo de patas; 8= calidad de huesos; 9= inserción ubre anterior; 10= posición tetas anteriores; 11= longitud de pezones; 12= altura ubre posterior; 13= anchura ubre posterior; 14= posición ubre posterior.

Cuadro 4
EFFECTOS INCLUIDOS EN LOS MODELOS LINEALES PARA LA ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS

<i>Autor</i>	<i>Efectos en el modelo</i>	<i>Método de estimación</i>
33	Clasificador, Hato dentro de Clasificador; edad a la calificación, edad* clasificador, estado de lactancia, semental (aleatorio)	Método III de Henderson
39	Hato-año, mes de descripción, estado de lactancia, descriptor, semental (aleatorio)	Método III de Henderson
40	Hato-Año-Mes; parto; semental (aleatorio)	Método III de Henderson
29	Hato-ronda; grupo genético; estado lactancia; edad a la clasificación (covariable); semental (aleatorio)	REML
36	año; época; región; hato; clasificador; animal registrado o sin registrar; edad al parto y días en leche (covariables); semental	Método III de Henderson
37	Hato-Ronda-Visita; edad a la clasificación; estado de lactancia; mes de parto; proporción de ancestros Holstein (europeos o norteamericanos); semental (aleatorio)	REML
12	edad al parto; estado de lactancia; Hato-Ronda-Clasificador; animal (aleatorio)	REML
53	Hato-Año-Mes; Hato*Semental; efectos de ambiente permanente (aleatorios); animal (aleatorio); grupo de padres desconocidos (aleatorio)	REML

eliminar el sesgo debido a la selección. En este modelo de evaluación genética se toman en cuenta todas las posibles relaciones de parentesco, de modo que incluso se pueden hacer evaluaciones genéticas de animales sin registros, porque estas evaluaciones se realizan a partir de la información de sus parientes con registros.^{50,51,52,53,54}

El modelo animal se ha convertido en la primera elección cuando se trata de hacer evaluaciones genéticas de ganado lechero;¹⁷ sin embargo, aunque su desarrollo teórico se inició desde hace varias décadas^{55,56,57,58} esto no ocurrió en los primeros años de su aparición, debido principalmente al gasto computacional requerido, lo cual fue una de las razones por las que inicialmente se difundió de modo relativamente lento. Por ejemplo, en Estados Unidos de América fue hasta 1991 cuando se instrumentó de modo rutinario en las evaluaciones de características de conformación,⁵³ aunque desde 1989 se usaba para las evaluaciones de características de producción de leche.⁵⁹ En Canadá, desde 1983 se utilizó el BLUP (mejor predictor lineal insesgado) en la evaluación de sementales utilizando un modelo semental, y en 1988 se comenzaron a hacer estudios que reconocieron la factibilidad de aplicar el modelo animal en las evaluaciones genéticas de vacas y toros para características de conformación,^{52,60} lo cual ocurrió de modo definitivo hasta 1989.³¹ En Francia hasta 1989 la evaluación de los toros se realizaba utilizando BLUP con un modelo semental, pero a partir de ese año se analizó la posibilidad de aplicar un análisis multivariado utilizando el modelo animal.¹² En el Cuadro 5 se resumen los principales modelos de evaluación genética para características de conformación en ganado Holstein que se han utilizado en los últimos 20 años, considerando trabajos de diferentes países.

Cuadro 5
MODELOS DE EVALUACIÓN PARA CARACTERÍSTICAS DE CONFORMACIÓN

<i>Autor</i>	<i>Modelo</i>	<i>n</i>
43	Semental	67644 vacas
40	Semental	56642 registros
29	Semental	18939 registros
36	Semental	2518 vacas
37	Semental	115063 registros
12	Animal	28738 registros
53	Animal	5.19 millones

Actualmente la estimación y predicción de parámetros usados en la evaluación de animales se realiza en gran parte de los trabajos utilizando la metodología del mejor estimador o predictor lineal insesgado (BLUE y BLUP, respectivamente)^{61,62,63} con un modelo animal, con lo cual se ha podido incrementar de manera importante la precisión de las evaluaciones genéticas.

Estimación de parámetros y evaluaciones genéticas de ganado Holstein en México

Desde 1976 y hasta 1997, la AHM realiza evaluaciones genéticas anuales para producción de leche, publicadas con el nombre de ¿QUÉ TORO?, bajo un convenio de cooperación con el Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América (USDA). Desde 1989 en ese país se utilizaba el modelo animal para realizar las

evaluaciones genéticas, y desde ese mismo año se usó para realizar las evaluaciones mexicanas con 123 397 registros de 50 538 vacas.²²

En lo que a las evaluaciones para conformación se refiere, desde 1961 la AHM realiza rondas de calificación del ganado registrado, y desde 1974 ha llevado a cabo algunas evaluaciones genéticas de toros, para rasgos de conformación, sin llegar a mantener un sistema rutinario, como en el caso de la producción de leche.

De 1974 a 1976, las evaluaciones para conformación se hicieron con las clasificaciones de 8 sistemas corporales realizadas desde 1961: apariencia general, carácter lechero, capacidad corporal, sistema mamario, ubre anterior, ubre posterior, anca, piernas y pezuñas; además se le asignaba a cada vaca una clasificación final. Las categorías que se asignaban a las vacas en función del puntaje final eran: excelente, muy buena, más buena, buena, regular y mala. Las evaluaciones que se realizaron en ese periodo se expresaban en términos porcentuales, en un promedio denominado "Más buena y mejor". Este sistema consistía en considerar en las tres primeras categorías, el número de hijas que cada toro tenía; de este modo, un toro con + 5 en cualquier rasgo de conformación, indicaba que 5% de sus hijas tenían clasificación de más buena o mejor, respecto a un promedio obtenido con las calificaciones para tal rasgo, calculado a partir de las calificaciones de todas las vacas de las últimas 10 rondas. La escala utilizada en el sistema de clasificación usado por la AHM cambió, en 1982, a una escala lineal similar a la utilizada en Canadá. En este sistema se calificaron, además de los rasgos del periodo de 1974 hasta 1982, otros dos rasgos nuevos: estilo y angulosidad.

Con la información de vacas de primer parto y primera calificación, generada de 1976 a 1985, incluyendo únicamente vacas con al menos 9 medias hermanas paternas, se realizó una evaluación para características de conformación, empleando la metodología BLUP, usando un modelo semental, en donde se incluyeron los efectos de: hato-año-época, ronda, clasificador, región y semental como efecto aleatorio.* Posteriormente a este trabajo, se realizaron dos evaluaciones más para conformación en 1986 y 1987, utilizando la expresión porcentual de "Más bueno y mejor" que se usó antes de la evaluación BLUP. En el Cuadro 6 se resumen algunas características de las evaluaciones mexicanas de conformación mencionadas anteriormente.

Actualmente la AHM califica estatura, tamaño, profundidad, anchura de pecho, altura a la cruz, lomo, punta del anca, anchura del anca, ángulo de pezuñas, aplomo, calidad de hueso, inserción de ubre anterior, posición de tetas anteriores, longitud de pezones anteriores, altura de ubre posterior, anchura de ubre posterior, posición de ubre posterior, ligamento medio suspensorio,

Cuadro 6
EVALUACIONES PARA RASGOS DE CONFORMACIÓN DE GANADO HOLSTEIN REALIZADAS EN MÉXICO

Año	n	Base de datos (registros incluidos)	Método
1974*	14280	marzo de 1961 a mayo de 1974	MB y M
1975*	15971	marzo de 1961 a abril de 1975	MB y M
1976*	18397	marzo de 1961 a mayo de 1976	MB y M
1977*	n. d.	octubre de 1976 a agosto de 1977	MB y M
1983*	7897		MB y M
1984*	n. d.		MB y M
1985**	16500	mayo de 1976 a 1983	BLUP
1986*	22450		MB y M
1987*	22450		MB y M

* Pruebas de toros ¿QUÉ TORO?, Asociación Holstein de México, 1974-1987;

** Mondragón, V. I. 1997, comunicación personal.

MB y M = promedio de Más bueno y mejor

Los rasgos clasificados fueron: apariencia general, carácter lechero, capacidad corporal, sistema mamario, ubre anterior, ubre posterior, extremidades y anca.

profundidad de ubre, textura y carácter lechero; para ello se utiliza una escala del 1 al 9 y una calificación final en una escala del 60 al 100, siguiendo el sistema mejorado de calificación lineal canadiense.

Desde 1988 no se había realizado ninguna evaluación de estos rasgos, hasta que Pérez y Ruiz⁶⁴ con 4 780 registros de primera calificación, generados en las rondas de 1994 a 1995, desarrollaron un modelo de evaluación genética para algunas características de ubre, utilizando la metodología del BLUP con un modelo donde incluyó los efectos fijos de hato-ronda, lactancia, tercio de lactancia, edad a la calificación como covariable y el efecto aleatorio del animal. Las heredabilidades, las correlaciones genéticas y fenotípicas que obtuvieron se muestran en el Cuadro 7.

En general, las características de ubre resultaron poco heredables, siendo la inserción de ubre anterior el rasgo con mayor heredabilidad; en tanto que la textura de ubre fue el rasgo con valor más bajo. Las correlaciones genéticas se encuentran en un rango de 0.72 a 0.98, mientras que las fenotípicas están entre 0.36 y 0.63, lo cual está por arriba de los valores que se han estimado en Canadá y Estados Unidos de América para estas mismas características.

Adicionalmente, con los estimadores genéticos mencionados, los autores calcularon la respuesta correlacionada a la selección, para cada característica de ubre, al seleccionar para puntos finales utilizando diferentes intensidades de selección. Los autores encontraron que la respuesta a la selección de puntos finales resultó en incrementos generacionales del rango de 0.09 a 0.36

* M. Sc. Ignacio Mondragón Vázquez, Semex-Alliance, comunicación personal de datos sin publicar.

Características	h^2	Cuadro 7				
		1	2	3	4	5
Inserción de ubre anterior(1)	0.16		0.43	0.39	0.39	0.63
Posición de tetas anteriores(2)	0.13	0.85		0.52	0.36	0.47
Ligamento medio suspensorio(3)	0.12	0.72	0.98		0.54	0.62
Textura de ubre(4)	0.05	0.72	0.80	0.96		0.47
Puntos finales(5)	0.13	0.84	0.83	0.84	0.87	
Pérez y Ruiz ⁶⁴						

puntos para las diferentes características correlacionadas. Con lo anterior concluyeron que los parámetros genéticos estimados pueden ser incluidos en programas de mejoramiento y obtener mejoras al aprovechar las respuestas correlacionadas a la selección, por lo que sugieren incluir un mayor número de registros de vacas de primer parto para realizar evaluaciones genéticas de conformación.

Conclusiones y perspectivas

Las evidencias mostradas en los trabajos analizados en este artículo, indican que en la mayoría de los países con sistemas de producción de leche altamente desarrollados, el mejoramiento de la raza Holstein se realiza no sólo aplicando selección para producción de leche, sino también poniendo atención en la selección de animales con características de conformación que han sido señaladas por criadores e investigadores, como esenciales para el desarrollo de una industria lechera más eficiente.

Los bovinos Holstein explotados en los sistemas de producción de leche en México, tienen una influencia genética muy grande de las poblaciones Holstein de Estados Unidos de América y Canadá, por lo que se debe aprovechar parte de la intensa selección a la que se someten dichas poblaciones, con el objeto de apoyar la crianza de vacas y sementales con capacidad para producir animales con rasgos de producción de leche y conformación, que tengan la aptitud de manifestar un balance en altas producciones de leche por lactancia y longevidad, rasgo que está favorecido por una buena conformación.

Los criadores de la AHM han incluido dentro de su Programa de Clasificación de Conformación, rasgos que

mundialmente son considerados como básicos para realizar evaluaciones óptimas de la conformación, tal es el caso de rasgos que determinan gran parte de la capacidad y estructura de una vaca lechera, como la profundidad y la anchura de pecho, y aquellos que se relacionan con un eficiente sistema mamario, como la profundidad de ubre. En muchos de los trabajos mencionados en este artículo se ha señalado la relevancia de estos rasgos en la selección indirecta de vacas con mayor potencial en la producción de leche de por vida.

Uno de los principales problemas que enfrenta la ganadería lechera mexicana, desde hace muchos años, es la limitada producción de remplazos. Diversos trabajos han mencionado el papel que las vacas, con una adecuada conformación y por ende con una mayor vida productiva en el hato, pueden desempeñar al reducir los costos por la compra de remplazos. Al mismo tiempo al mantenerse durante mayor tiempo en el hato con niveles elevados de producción, pueden contribuir a reducir la tasa de desecho por causas no productivas.

La información que la AHM ha generado desde que implantó los Programas de Control de Producción y de Calificación de Conformación, es de suma importancia para el desarrollo lechero del país, porque puede utilizarse en la generación de estudios que tengan como finalidad la selección de ganado altamente productivo de leche y sus componentes, que al mismo tiempo manifiesten una estructura de conformación que les permita tener la capacidad de contar con una larga vida productiva.

Los sistemas especializados en producción de leche en México explotan aproximadamente a 950 000 vacas.* Sólo de una pequeña proporción de estas vacas se cuenta con información productiva y de pedigree confiable. Para el adecuado desarrollo de la ganadería lechera en México, se requiere incrementar el número de vacas bajo sistemas eficientes de control de producción, y al mismo tiempo habrá que establecer esquemas de evaluación genética y selección del ganado Holstein que tengan como características las de realizarse con precisión, de modo rutinario y que, además, permitan que tanto ganaderos como extensionistas cuenten con información de rápida referencia que les permita la selección de los animales de acuerdo a sus metas particulares de mejoramiento.

Los esquemas de evaluación y selección para rasgos de conformación que se establezcan en México deberán fundamentarse en trabajos de investigación cuya finalidad sea la de generar, además de otra información, la estimación de componentes de varianza y covarianza y valores genéticos para las características de conformación de vacas Holstein que cuenten con información de pedigree completa y confiable. Las vacas registradas en la AHM cuentan con estos requisitos, que actualmente han permitido desarrollar las bases para la elaboración de futuros programas de mejoramiento genético que tengan el propósito de seleccionar vacas funcionales y altas productoras.

* Programa Agropecuario y de Desarrollo Rural, *Diario Oficial de la Federación*, viernes 11 de julio de 1997, página 50.

Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), de México, mediante una beca de maestría para el primer autor, y por la Asociación Holstein de México, A. C. Asimismo, los autores agradecen los valiosos comentarios e información proporcionada por el M. Sc. Ignacio Mondragón Vázquez, por los doctores Carlos Sosa Ferreira, Pedro Ochoa Galván y Gonzalo Cevallos Urueta, así como por las sugerencias del comité revisor.

Referencias

1. Hazel LN, Dickerson GE, Freeman AE. The selection index-then, now, and for the future. *J Dairy Sci* 1994;77:3236-3251.
2. Burnside EB, McClintock AE, Hammond K. Type, production and longevity in dairy cattle: a review. *Anim Breed Abstr* 1984;52:711-719.
3. Rogers GW, Hargrove GL, Lawlor JL, Ebbersole JL. Correlations among type traits and somatic cell counts. *J Dairy Sci* 1991;74:1087-1091.
4. Zhang WC, Dekkers JCM, Banos G, Burside EB. Adjustment factors and genetic evaluation for somatic cell score and relationship with other traits of Canadian Holsteins. *J Dairy Sci* 1994;77:659-665.
5. Lund T, Miglior F, Dekkers JCM, Burnside EB. Genetic relationships between clinical mastitis, somatic cell count, and udder conformation in Danish Holsteins. *Livest Prod Sci* 1994;39:243-251.
6. De Haan MHA, Cassell BG, Pearson RE, Smith BB. Relationships between net income, days of productive life, production, and linear type traits in grade and registered Holsteins. *J Dairy Sci* 1992;75:3553-3561.
7. Dekkers CM. Theoretical basis for genetic parameters of herd life and effects on response to selection. *J Dairy Sci* 1993;76:1433-1443.
8. Klassen DJ, Monardes HG, Jairath L, Cue IR, Hayes JF. Genetic correlations between lifetime production and linearized type in Canadian Holstein. *J Dairy Sci* 1992;75:2272-2282.
9. Veerkamp RF, Hill WG, Stott AW, Brotherstone S, Simm G. Selection for longevity and yield in dairy cows using transmitting abilities for type and yield. *Anim Sci* 1995;61:189-197.
10. Brotherstone S, Hill WG. Dairy herd life in relation to linear traits and production. 1. Phenotypic and genetic analyses in pedigree type classified herds. *Anim Prod* 1991a;53:279-287.
11. Brotherstone S, Hill WG. Dairy herd life in relation to linear traits and production. 1. Phenotypic and genetic analyses in pedigree type classified herds. *Anim Prod* 1991b;53:289-297.
12. Ducrocq V. Genetic parameters for type traits in the French Holstein breed based on a multiple-trait animal model. *Livest Prod Sci* 1993;36:143-156.
13. Misztal I, Short FH, Lawlor TJ, Vanraden PM. Multiple-trait estimation of variance components of yield and type traits using an animal model. *J Dairy Sci* 1992;75:544-551.
14. Short TH, Lawlor TJ. Genetic parameters of conformation traits, milk yield, and herd life in Holsteins. *J Dairy Sci* 1992;75:1987-1998.
15. Dentine MR, McDaniel BT, Norman HD. Comparison of culling rates, reasons for disposal, and yields for registered and grade Holstein cattle. *J Dairy Sci* 1987;70:2616-2622.
16. Westell RA, Burnside EB, Schaeffer LR. Evaluation of Canadian Holstein-Friesian sires on disposal reasons of their daughters. *J Dairy Sci* 1982;65:2366-2372.
17. Misztal I, Wiggans GR. Approximation of prediction error variances in large-scale animal models. *Proceedings of the Animal Model Workshop*. *J Dairy Sci* 1988;71(Suppl. 2):27-32.
18. Dekkers JCM, Jairath LK, Lawrence BH. Relationships between sire genetic evaluations for conformation and functional herd life of daughters. *J Dairy Sci* 1994;77:844-854.
19. Foster WW, Freeman AE, Berger PJ. Association of type traits scored linearly with production and herdlife of Holsteins. *J Dairy Sci* 1989;72:2651-2664.
20. Smothers CD, Pearson RE, Hoeschele I. Herd final score and its relationships to genetic and environmental parameters of conformation traits of United States Holsteins. *J Dairy Sci* 1993;76:1671-1677.
21. Avendaño RL. Estimación de la tendencia genética para producción de leche en hatos Holstein de México (tesis de maestría). México (DF) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, 1989.
22. Powell RL, Wiggans GR. Animal model evaluations for Mexican Holsteins. *J Dairy Sci* 1991;74:1420-1427.
23. Abubakar BY, McDowell RE, Van Vleck LD. Interaction of genotype and environment for breeding efficiency and milk production of Holsteins in Mexico and Colombia. *Trop Agric (Trinidad)* 1987;64:17-22.
24. Díaz GR, Regalado C, Apodaca C, Nuñez R, Tewolde A. Índice de herencia de producción de leche proveniente de tres hatos Holstein de la comarca lagunera. *Memorias de la XVI Reunión Anual de la Asociación Mexicana de Producción Animal*; 1982 noviembre 17-19; Universidad Autónoma de Chapingo, Estado de México: Asociación Mexicana de Producción Animal, 1982:56.
25. Ruiz FA, Apodaca C. Parámetros genéticos de producción de leche por lactancia, intervalo entre partos y producción de leche por día de intervalo entre partos. *Memorias de la Reunión de Investigación Pecuaria en México*; 1988 diciembre 6-9; Unidad de Congresos del Centro Médico, IMSS México (DF): SARH/INIFAP-UNAM-CP, 1988:80.
26. Sosa FC. Estimación de índice de herencia y constancia para producción de leche y tipo en un hato Holstein del noroeste de México (tesis de licenciatura). México (DF) México: Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM, 1980.
27. Montaldo VH, Torres NS. Repetibilidad de la producción de leche e intervalo entre partos en una población de vacas Holstein en México. *Arch Zootec* 1993;42:361-366.
28. Ruiz LF, Oltenacu PA, Blake RW. Efecto del nivel de producción de leche sobre la duración de vida productiva de ganado Holstein de registro en México. *Téc Pecu Méx* 1994;32:105-112.
29. Meyer K, Brotherstone S, Hill WG. Inheritance of linear type traits in dairy cattle and correlations with milk production. *Anim Prod* 1987;44:1-10.
30. Schaeffer LR, Hunt MS, Burnside EB. Evaluation of Holstein-Friesian dairy sires for conformation of their daughters. *Can J Anim Sci* 1978;58:409-417.
31. Holstein Association of Canada. Who's who. Canadian Holstein sires review. Brantford, Ontario: Holstein Association of Canada; 1977, 1987, 1997.
32. Schaeffer LR. Estimates of variance components for Holsteins-type sires. *Can J Anim Sci* 1983;63:763-771.

33. Thompson JR, Freeman AE, Wilson DJ, Chapin CA, Berger PJ, Kuck A. Evaluation of a linear type program in Holsteins. *J Dairy Sci* 1981;64:1610-1617.
34. Short TH, Lawlor TJ, Lee KL. Genetic parameters for three experimental linear type traits. *J Dairy Sci* 1991;74:2020-2025.
35. Holstein Association of the United States. Holstein type-production, sires summaries. Brattleboro, (VT): Holstein Association of United States: 1977, 1987, 1997.
36. Diers H, Swalve H. Estimation of genetic parameters and breeding values for linear scored type traits. *Wld Rev Anim Prod* 1990;25:67-70.
37. Brotherstone S, MacManus CM, Hill WG. Estimation of genetic parameters for linear and miscellaneous type traits in Holstein-Friesian dairy cattle. *Livest Prod Sci* 1990;26:177-192.
38. Vinson WE, Pearson RE, Johnson LP. Relationships between linear descriptive type traits and body measurements. *J Dairy Sci* 1982;65:995-1003.
39. Smith SP, Allaire FR, Taylor WR, Kaeser HE, Conley J. Genetic parameters and environmental factors associated with type traits scored on an ordered scale during first lactation. *J Dairy Sci* 1985;68:2058-2071.
40. Schaeffer GB, Vinson WE, Pearson RE, Long RG. Genetic and phenotypic relationships among type traits scored linearly in Holsteins. *J Dairy Sci* 1985;68:2984-2988.
41. Thompson JR, Lee KL, Freeman AE, Johnson LP. Evaluation of a linearized type appraisal system for Holstein cattle. *J Dairy Sci* 1983;66:325-331.
42. Edlun DP, White JM, Vinson WE. Genetic parameters of a linearized type appraisal program. *J Dairy Sci* 1979;62(Suppl. 1):144(Abstr.).
43. Thomas CL, Vinson WE, Pearson RE, Norman HD. Components of genetic variance and covariance for linear type traits in Jersey cattle. *J Dairy Sci* 1985;68:2989-2994.
44. Meyer K, Burnside EB, Hammond K, McVlinton AE. Evaluating dairy sires for conformation of their daughters: use of first classification records. *Austr J Agric Res* 1985;36:509-525.
45. International Committee for Animal Recording. International agreement of recording practices. Rome, Italy: ICAR, 1995.
46. Norman HD, Van Vleck LD. Type appraisal: III. Relationships of first lactation production and type traits with lifetime performance. *J Dairy Sci* 1972;55:1726-1734.
47. Rogers GW, McDaniel BT. The usefulness of selection for yield and functional type traits. *J Dairy Sci* 1989;72:187-193.
48. Boldman KG, Freeman AE, Harris BL. Prediction of sire transmitting abilities for herd life from transmitting abilities for linear type traits. *J Dairy Sci* 1992;75:552-563.
49. Ducrocq V, Quass RL, Pollak EJ, Casella G. Length of productive life of dairy cows. Variance component estimation and sire evaluation. *J Dairy Sci* 1988;71:3071-3079.
50. Klei L, Pollack EJ, Quass RL. Genetic and environmental parameters associated with linearized type appraisal scores. *J Dairy Sci* 1988;71:2744-2752.
51. Meyer K. DFREML-a set of programs to estimate variance components under an individual animal model. *Proceedings of the Animal Model Workshop. J Dairy Sci* 1988a;71(Suppl. 2):33-34.
52. Meyer KJ, Burnside EB. Joint sire and cow evaluation for conformation traits using an individual animal model. *J Dairy Sci* 1988b;71:1034-1049.
53. Misztal I, Lawlor TJ, Short TH. Implementation of single- and multiple- trait animal models for genetic evaluation of Holstein type traits. *J Dairy Sci* 1993;76:1421-1432.
54. Van Vleck D. Selection index and introduction to mixed model methods. Boca Raton (FL): CRC Press, 1993.
55. Henderson CR. Estimation of changes in herd environment. *J Dairy Sci* 1949;32:706-711.
56. Henderson CR. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. *Biometrics* 1975;31:423-447.
57. Henderson CR, Quaas RL. Multiple trait evaluation using relatives records. *J Dairy Sci* 1976;43:1188-1197.
58. Quaas RL, Pollack EJ. Mixed model methodology for farm and ranch beef cattle testing programs. *J Anim Sci* 1980;51:1277-1287.
59. Wiggans GR, VanRaden PM. Animal model evaluation within herd linked to national evaluations. *J Dairy Sci* 1990;73:1956-1963.
60. Meyer K. Approximate accuracy of genetic evaluation under an animal model. *Livest Prod Sci* 1989;21:87-100.
61. Cassell BG. What extension workers need to tell dairy farmers. *Proceedings of the Animal Model Workshop. J Dairy Sci* 1988;71(Suppl. 2):85-90.
62. Henderson CR. Theoretical basis and computational methods for a number of different animal models. *Proceedings of the Animal Model Workshop. J Dairy Sci* 1988;71(Suppl. 2):1-16.
63. Wiggans GR, Misztal I, Van Vleck LD. Animal model evaluation of Ayrshire milk yield with all lactations, herd sire interaction, and groups based on unknown parents. *Proceedings of the Animal Model Workshop. J Dairy Sci* 1988;71(Suppl. 2):115-125.
64. Pérez NI, Ruiz LF. Estimación de parámetros genéticos para algunas características de ubre y puntos finales en ganado Holstein de registro en México. *Téc Pecu Méx* 1998;36:25-34.