

# Caracteres reproductivos y su heredabilidad en bovinos para carne

---

Cammack, K.M.<sup>(1)</sup>, Thomas, M.G.<sup>(2)</sup> y Enns, R.M.<sup>(3)</sup>

---

## Resumen

La fertilidad es un proceso fisiológico difícil de definir debido a la complejidad de la reproducción, y continua siendo uno de los factores de manejo que más impactan sobre la rentabilidad de la cría. Las definiciones de caracteres reproductivos varían entre biotipos, razas, localizaciones y sexos. A pesar del reconocimiento que las mediciones de eficiencia reproductiva deberían ser incluidas en los objetivos reproductivos, el mejoramiento genético de rasgos reproductivos ha sido dificultado por la falta de información, baja heredabilidad y demora en la expresión de estos caracteres. El reporte de información de rodeos completos es necesario para la implementación de predicciones genéticas de rasgos reproductivos en los rodeos de cría, y en la medida que las bases de datos mejoren, serán desarrolladas nuevas metodologías para mejorar genéticamente la fertilidad.

**Palabras clave:** ganado de carne; reproducción; fertilidad; heredabilidad.

---

## Reproductive Traits and Their Heritabilities in Beef Cattle

### Summary

La fertilidad es una característica compleja en los sistemas de producción de carne y en los procedimientos de evaluación genética, debido en parte a las numerosas mediciones empleadas para medir la reproducción. Más allá del ganado de carne, las mediciones de fertilidad varían según la especie, e incluso e los bovinos de acuerdo a la raza, localización, sexo y biotipo.

La fertilidad es una variable económicamente importante, y por lo tanto debería ser incluida en los objetivos reproductivos. Sin embargo, los caracteres indicadores de fertilidad tienen por lo general baja heredabilidad, son expresados tardíamente en la vida del animal o ambas cosas. La mayoría de estos rasgos son de análisis genético complejo dada la naturaleza binaria que son recolectados en períodos de servicio cortos (típicamente 60 a 90 días). Además, la implementación de predicciones genéticas de caracteres reproductivos en ganado de carne ha sido complicada por la falta de sistemas de reporte de información de rodeos completos.

Esta revisión evalúa las mediciones históricas y actuales de fertilidad y la heredabilidad de los rasgos utilizados en ganado para carne. El éxito en la implementación de programas de mejoramiento genético para fertilidad es dependiente de la recolección de datos de rodeos completos y de una adecuada técnica de análisis.

**Key words:** beef cattle, reproduction, fertility, heritability.

---

(1) Department of Animal Science, University of Wyoming, Laramie 82071.

(2) Department of Animal and Range Sciences, New Mexico State University, Las Cruces 88003.

(3) Department of Animal Sciences, Colorado State University, Fort Collins 80523-1171

1. *Introducción*
2. *Revisión y discusión*
3. *Mediciones reproductivas en la hembra*
  - 3.1 *Edad a la pubertad*
  - 3.2 *Edad al primer parto*
  - 3.3 *Tamaño del folículo ovulatorio*
  - 3.4 *Fecha de parición*
  - 3.5 *Intervalos parto-primer servicio y primer servicio-concepción*
  - 3.6 *Porcentaje de preñez*
  - 3.7 *Porcentajes de destete y parición*
  - 3.8 *Prolificidad*
  - 3.9 *Intervalo entre partos*
  - 3.10 *Distocia*
  - 3.11 *Longevidad y permanencia*
4. *Índices de selección*
5. *Mediciones reproductivas en el macho*
  - 5.1 *Circunferencia escrotal*
  - 5.2 *Evaluación de la aptitud reproductiva*
  - 5.3 *Libido y capacidad de servicio*
6. *Análisis genético de rasgos de fertilidad*
7. *Implicancias*
8. *Agradecimientos*
9. *Bibliografía*

## 1. **Introducción**

La eficiencia biológica y la rentabilidad del rodeo de cría son altamente dependientes de la eficiencia reproductiva <sup>(26)</sup>. Mejoras en la fertilidad pueden ser 4 veces más importantes que mejoras en la calidad del producto final en rodeos que venden convencionalmente terneros al destete <sup>(83)</sup>. Las evaluaciones genéticas de ganado se han enfocado primeramente en rasgos de producción, incluyendo caracteres de crecimiento y carcasa, más que en rasgos reproductivos debido a la disponibilidad de los datos y a la facilidad del procedimiento de análisis <sup>(37)</sup>. Consecuentemente, las herramientas de selección para mejoramiento de rasgos reproductivos son limitadas <sup>(46)</sup>.

La mejora en eficiencia reproductiva generalmente ha sido lenta por su baja heredabilidad, por la naturaleza binomial del resultado de un servicio

estacionado o por la tardía expresión de los rasgos en la vida del animal <sup>(72)</sup>. Se han realizado muchos trabajos para mejorar la eficiencia reproductiva a través de cruzamientos y mejoras en las técnicas de manejo <sup>(86)</sup>, pero menos por selección directa. Sin embargo, registros de mediciones directas de rasgos reproductivos, analizados con metodologías apropiadas, sugieren que es posible mejorar la reproducción por medio de la selección. "Fertilidad" es un término amplio que no es fácilmente definido y que incluye una variedad de rasgos importantes en la reproducción animal. La reproducción depende de muchos factores, incluyendo la especie (ej. *Bos taurus*, *Bos indicus*), raza, localización, sexo y categoría <sup>(65, 74, 98)</sup>. El resultado reproductivo depende de muchos factores que incluyen la capacidad del macho y de la hembra para alcanzar cada etapa crítica en el desarrollo reproductivo <sup>(38)</sup>. Si bien la heredabilidad estimada de muchos rasgos reproductivos es baja, para algunos es moderada, y existen importantes correlaciones genéticas entre estos y otros rasgos productivos que son moderada a altamente heredables. Por lo tanto, los caracteres reproductivos deberían ser considerados en los programas de selección, tanto directa como indirectamente <sup>(84)</sup>.

Este artículo revisa las heredabilidades de los caracteres reproductivos. Sin embargo, las relaciones genéticas de estos rasgos con otros caracteres productivos de importancia, y las consecuencias de la selección de caracteres reproductivos, requiere una revisión adicional. La predicción genética de rasgos de fertilidad en sistemas de producción de carne ha sido dificultada por la necesidad de recolectar datos del total del rodeo <sup>(85, 103, 113, 114)</sup>, especialmente, datos que deben ser registrados de cada vaca y cada año. Varias asociaciones de criadores de razas norteamericanas están reuniendo estos datos con el objetivo de realizar predicciones genéticas de caracteres reproductivos. El desarrollo de una guía por parte de la BIF (*Beef Improvement Federation*) ha sido muy importante en este sentido <sup>(6, 52, 53)</sup>. Sin embargo, en general en los EE.UU. ha sido lenta la adopción de estos protocolos de registros de datos para lograr un trabajo común en el mejoramiento genético de la fertilidad.

Dado el potencial de la evaluación genética de la fertilidad y la importancia de la reproducción en la eficiencia económica, este trabajo se ha concentrado en la forma de coleccionar datos reproductivos y en la estimación de la heredabilidad para la mayoría de

las características.

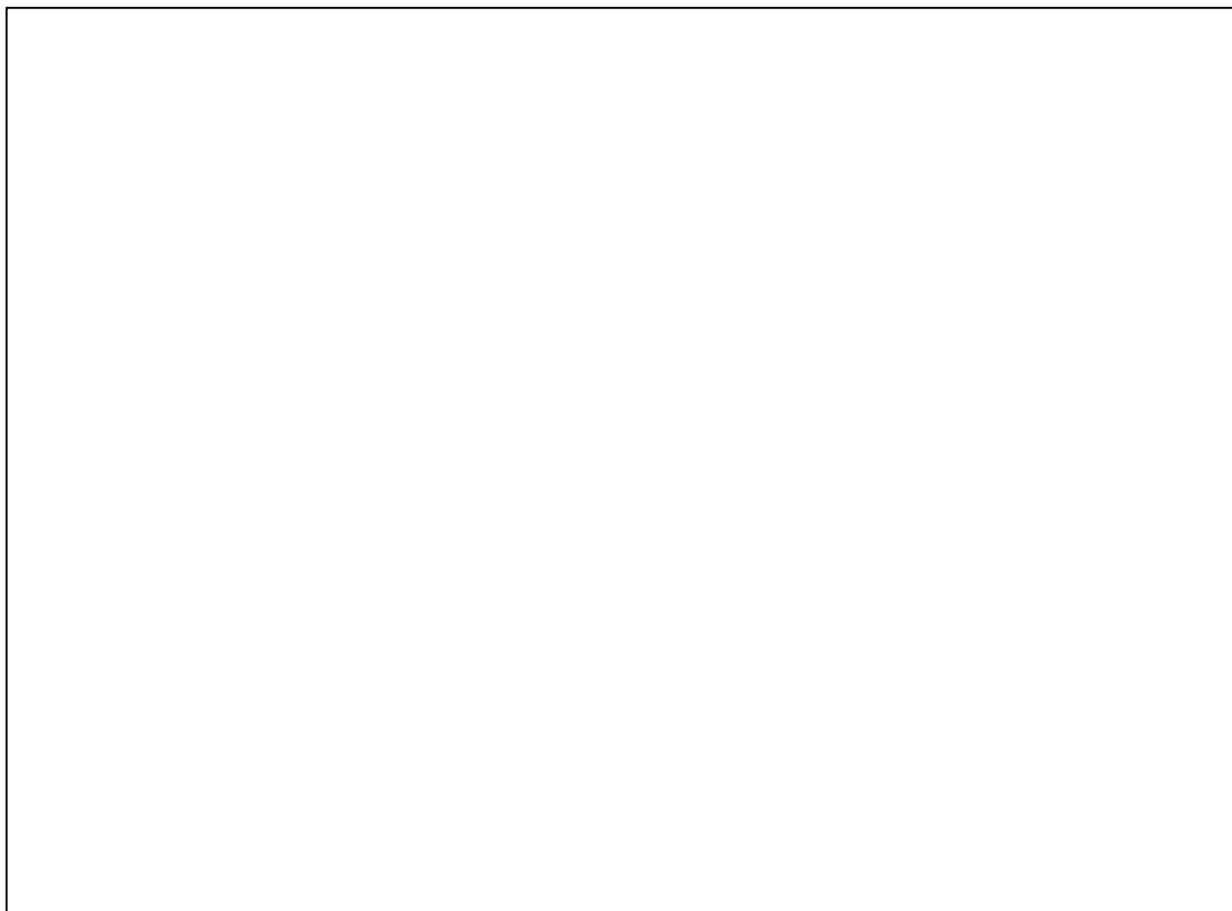
Algunos de los caracteres descriptos en esta revisión no han incluido muchos datos para la estimación de heredabilidad, sin embargo han sido considerados debido a que la fisiología vinculada con ellos es importante para comprender otros rasgos que permiten estimar parámetros genéticos.

## 2. Revisión y discusión

Las herebabilidades estimadas de distintos caracteres reproductivos están listadas en la Tabla 1. En general, las heredabilidades de caracteres reproductivos en bovinos son bajas debido a una gran proporción de la variación residual inexplicable <sup>(116)</sup> y a la considerable influencia del manejo de muchas de estas mediciones <sup>(23, 50)</sup>. La variación residual probablemente sea debida tanto a efectos ambientales desconocidos como a efectos genéticos aditivos y no aditivos no explicables debido a la naturaleza umbral de la preñez y al manejo brindado para lograr altos porcentajes de preñez. La baja heredabilidad no necesariamente sugiere que el control genético del rasgo reproductivo sea económicamente menos importante que los insumos de manejo o a la inversa. Los registros de baja hereda-

bilidad de los caracteres reproductivos han llevado a pensar en una pequeña variación genética, y por lo tanto inefectividad en la selección. Sin embargo, algunos rasgos reproductivos, incluido el porcentaje de preñez, muestran evidencias de sustanciales efectos genéticos <sup>(116, 118)</sup>. Estos efectos pueden ser aditivos o no aditivos, los cuales son difíciles de cuantificar dada la naturaleza binaria de la preñez y el uso de un rasgo binario para explicar la variación genética continua subyacente. Se han empleado diferentes técnicas para cuantificar la variabilidad genética subyacente <sup>(109)</sup>. Además, la expresión de heterosis de varios caracteres reproductivos indica que pueden lograrse mejoras en la eficiencia reproductiva a través de estrategias de cruzamiento, que mejoran el valor genético no aditivo.

Características como pubertad temprana <sup>(74)</sup>, mayor porcentaje de preñez <sup>(96, 124)</sup>, mayores pesos al nacer y al destete <sup>(96)</sup>, menor distocia <sup>(119)</sup>, mayor longevidad <sup>(119)</sup> y menor intervalo entre partos <sup>(117)</sup> han sido asociadas con mejoramiento por cruzamiento. Por lo tanto, a pesar de la evidencia que indica la baja heredabilidad de los rasgos reproductivos, puede ser posible una mejora genética de la fertilidad, o al menos prevenir el deterioro de la



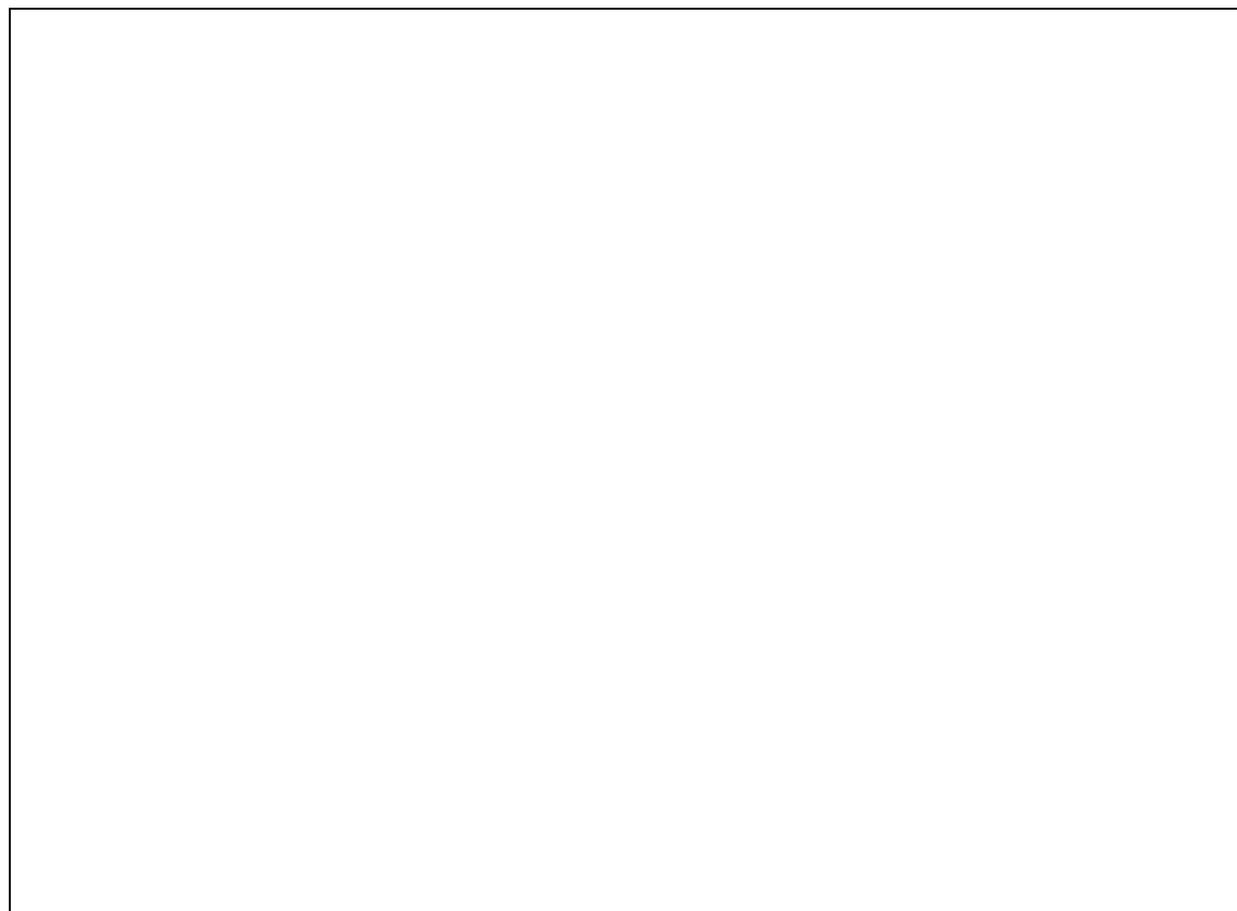
misma. Esta revisión se enfocará en las distintas mediciones de fertilidad y el control genético aditivo de las mismas con el objeto de lograr un mejoramiento genético sustentable en la producción de carne. Aunque los efectos genéticos no aditivos (ej. cruzamientos) no son el foco de este artículo, estos componentes genéticos deben ser considerados al analizar el tema.

En general, el ganado bovino carnívor no es considerado altamente fértil o reproductivamente eficiente. La tasa de preñez por servicio obtenida en forma natural o por IA es aproximadamente 50 a 60% <sup>(97)</sup>. Si bien no parece existir mucha documentación trascendente sobre el progreso en los caracteres reproductivos por selección, se han logrado mejoras a través de estrategias para minimizar la infertilidad <sup>(97)</sup>. En la lechería, la caída en la fertilidad de la hembra ha sido dramática debido a la elevada presión de selección a favor de la producción de leche, y a la correlación genética desfavorable entre rasgos de producción y fertilidad <sup>(21)</sup>. Las hembras son generalmente consideradas subfértils durante la lactancia. Con el mejoramiento genético en producción de leche y las correlaciones desfavorables con la fertilidad, las tasas de concep-

ción en vacas lecheras han descendido un 25% desde 1951 <sup>(67)</sup>, y las tasas de preñez un 0,45% por año en los Estados Unidos desde 1975 hasta 1997 <sup>(102)</sup>. Se han registrado mejoras en la reproducción en grandes rodeos <sup>(91)</sup>, pero estas mejoras son debidas más a avances en estrategias de manejo y alimentación <sup>(67)</sup>.

La reproducción es un evento propio, pero los rasgos relacionados no pueden ser medidos directamente en el animal sino a través del éxito o fracaso en la concepción o preñez. Es una función del potencial genético subyacente de factores endócrinos y fisiológicos que contribuyen a la fertilidad global <sup>(36)</sup>. El aumento de la eficiencia en los rodeos de cría requiere mejorar la fertilidad tanto de las vacas como de las vaquillonas <sup>(107)</sup>. Además, el éxito de los programas de desarrollo de vaquillonas de reposición depende de la fertilidad <sup>(12)</sup>.

La fertilidad de las hembras de razas carnívoras ha sido medida de diferentes maneras, incluyendo edad al primer parto, fecha de parición, porcentaje de preñez a la primera IA (tasa de no retorno), días al primer servicio (días abiertos), tasa de preñez, intervalo entre partos, longevidad y permanencia en el rodeo.



Además de la variabilidad en las mediciones de fertilidad y la falta de acuerdo sobre los rasgos en base a los cuales evaluar y seleccionar los animales, el tiempo necesario para registrar los datos es prolongado, lo que reduce la cantidad de datos disponibles a partir de muchas poblaciones. Incluso, con cantidad insuficiente de datos, la heredabilidad de estas mediciones es bastante baja <sup>(46, 70)</sup>. Además, existe información limitada sobre fertilidad en condiciones pastoriles <sup>(64)</sup>. Por lo tanto, es necesario discutir acerca de las mediciones utilizadas para evaluar la fertilidad de la hembra, sus definiciones y justificación de uso y la heredabilidad de esos rasgos. Uno de los objetivos de este trabajo es preparar una base sobre la cual generar un esfuerzo conjunto de todo el sector para mejorar la fertilidad del ganado de carne y la rentabilidad de la actividad.

### 3. Mediciones reproductivas en la hembra

#### 3.1. Edad a la pubertad

La edad a la pubertad es una medida de fertilidad de las vaquillonas que puede influir en la característica “eficiencia reproductiva subsecuente”.

Otros rasgos relacionados con edad a la pubertad que son empleados como predictores de fertilidad de las vaquillonas incluyen edad a la formación del primer cuerpo lúteo (usado por *Australian Beef Cooperative Research Center; Cooperative Research Centre for Beef Genetics Technologies*, 2006), edad al primer celo y edad al primer servicio <sup>(49)</sup>. Las vaquillonas reproductivamente eficientes alcanzan la pubertad más temprano, y por lo tanto pueden concebir antes durante el servicio. Esta característica está influenciada por una variedad de factores, como peso al nacer, estadio nutricional y en particular, raza <sup>(74)</sup>. Específicamente, se han atribuido dife-

rencias en edad a la pubertad en la vaquillona en función de la raza del toro. Gregory y col. <sup>(44)</sup> compararon edad a la pubertad en vaquillonas nacidas de madres Hereford o Angus cruzadas con toros Brahman, Sahiwal, Pinzgauer y Tarentaise. Las vaquillonas hijas de toros Pinzgauer o Tarentaise tuvieron una menor edad promedio a la pubertad ( $303 \pm 5,7$  y  $318 \pm 6,3$  días, respectivamente) que las vaquillonas hijas de toros Brahman o Sahiwal ( $398 \pm 5,8$  y  $383 \pm 6,4$  días, respectivamente).

Laster y col. <sup>(61)</sup> encontraron diferencias similares en edad a la pubertad en vaquillonas nacidas de madres Hereford o Angus cruzadas con toros Hereford, Angus, Charolais, Jersey, South Devon, Simmental y Limousin. Las vaquillonas Hereford y Angus puras tuvieron mayor edad a la pubertad ( $389,5 \pm 12,9$  y  $372,2 \pm 10,0$  días, respectivamente) que las vaquillonas cruza, lo que indica que no sólo la heterosis contribuye a una edad temprana a la pubertad, sino que la raza misma (Hereford pura vs Angus pura) también juega un importante papel.

Un estudio de casos indicó que las vaquillonas Angus alcanzaron la pubertad aproximadamente un mes antes que las Brangus (3/8 Brahman y 5/8 Angus), y que las vaquillonas Angus y Brangus tendieron a alcanzar la pubertad más temprano que las vaquillonas Brahman puras <sup>(65)</sup>. Debido a estas diferencias raciales, las vaquillonas son servidas para parir a los dos años de edad en los sistemas de producción que utilizan vaquillonas *Bos taurus* y típicamente a los 3 años de edad en aquellos que emplean vaquillonas *Bos indicus*.

El inicio de la pubertad puede también ser influenciado por parámetros vinculados con la ingesta de alimento, ciertos metabolitos y hormonas metabólicas indicativas del estatus nutricional, y por varios componentes de la reproducción. Por ejemplo, la insulina, triiodotironina, IGF-I y

**Tabla 1.** Resumen de las heredabilidades estimadas ( $h^2$ ) de los rasgos reproductivos habitualmente utilizados en razas carniceras.

Rasgo	$h^2$	Referencia
Edad al primer parto	< 0,10	Smith y col., 1989; Martínez-Velázquez y col., 2003
	0,20 a 0,30	Morris y col., 1992, 2000; Gutiérrez y col., 2002
Edad a la pubertad	< 0,10	McInerney, 1977
	0,10 a $\leq$ 0,20	Arije y Wiltbank, 1971; Smith y col., 1989; Martínez Velázquez y col., 2003
	0,40 a $\leq$ 0,50	Laster y col., 1979; Lunstra, 1982; King y col., 1983; Martin y col., 1992
	< 0,60	Smith y col., 1976; Werre y Brinks, 1986; MacNeil y col., 1984
Fecha de parto	< 0,10	Buddenberg et al., 1990; MacNeil and Newman, 1994; Morris and Cullen, 1994; Morris et al., 2000
	0,20 a $\leq$ 0,30	MacNeil et al., 1984; Buddenberg et al., 1990; Gutiérrez et al., 2002
	0,40 a $\leq$ 0,50	Cundiff et al., 1986
Porcentaje de parición	< 0,10	Meyer y col., 1990
	0,10 a $\leq$ 0,20	Meyer y col., 1990
Partos normales	< 0,05	Meyer y col., 1990
	0,05 a $\leq$ 0,10	Meyer y col., 1990
Intervalo parto-primera inseminación	< 0,10	Donoghue y col., 2004a,b
Días al parto	< 0,10	Meyer y col., 1990; Donoghue y col., 2004b
Preñez al primer servicio	< 0,10	PMinick Bormann y col., 2006
	0,20 a $\leq$ 0,30	Dearborn y col., 1973
Preñez en vaquillonas	< 0,20	Evans y col., 1999
	0,20 a $\leq$ 0,30	Doyle y col., 2000
Número de terneros	< 0,10	Meyer y col., 1990; Martínez y col., 2004a
	0,10 a $\leq$ 0,20	Martínez y col., 2004a,b
	0,30 a $\leq$ 0,40	Meyer y col., 1990
Porcentaje de preñez	< 0,10	Toelle y Robison, 1985; Morris y Cullen, 1994; Mathiew's y col., 1995; Morris y col., 2000
	0,10 a $\leq$ 0,20	Evans y col., 1999; Morris y col., 2000; Martínez Velázquez y col., 2003; Minick Bormann y col., 2006
	0,20 a $\leq$ 0,30	Doyle y col., 1996, 2000; Evans y col., 1999; Thallman y col., 1999
Probabilidad de preñez	< 0,10	Koots y col., 1994
	0,10 a $\leq$ 0,20	Evans y col., 1999
	0,20 a $\leq$ 0,30	Snelling y col., 1995; Doyle y col., 1996, 2000
	0,50 a $\leq$ 0,60	Eler y col., 2002
Circunferencia escrotal	0,20 a $\leq$ 0,40	Latimer y col., 1982; King y col., 1983; Knights y col., 1984
	0,40 a $\leq$ 0,50	Neely y col., 1982; Bourdon y Brinks, 1986; Nelsen y col., 1986; Lunstra y col., 1988; Smith y col., 1989; Morris y col., 1992, 2000; Martínez-Velázquez y col., 2003
	0,50 a $\leq$ 0,80	Coulter y Foote, 1979; Lunstra, 1982; Evans y col., 1999

leptina están correlacionados positivamente con edad a la pubertad <sup>(40, 41, 48, 105)</sup>. La heredabilidad estimada de edad a la pubertad varió desde 0,10 a 0,67, pero en general tendió a ser moderada (Tabla 1). Una característica asociada con edad a la pubertad es el peso corporal al primer celo. La heredabilidad estimada de peso al primer celo varió desde 0,40 <sup>(87)</sup> hasta 0,70 <sup>(71)</sup>. Nótese que la edad a la pubertad tuvo una heredabilidad estimada mayor que la de otros rasgos reproductivos considerados.

Sin embargo, incluso con el profundo conocimiento sobre fisiología de la pubertad, la edad a la pubertad es una característica difícil de observar en una población. La pubertad es clásicamente definida como el momento en el cual la vaquillona presentó dos mediciones de progesterona con valores superiores a 1 ng/ml en dos muestras con diferencia de 3 a 4 días. Esta medición indica el mantenimiento de un CL funcional entre los días 5 y 15 del ciclo estral <sup>(22, 65, 105)</sup>. Esta determinación hormonal requiere dos muestreos y el consecuente análisis de laboratorio, lo que puede ser costoso, por lo que es un proceso normalmente empleado en trabajos de investigación.

### 3.2 Edad al primer parto

La edad al primer parto es rutinariamente registrada y está altamente correlacionada desde el punto de vista genético con la edad a los partos subsecuentes y con los días al parto subsecuente <sup>(46)</sup>. Debido a estas relaciones, esta medida es normalmente empleada para evaluar la fertilidad de la vaquillona. A pesar de lograr intervalos entre partos cortos, una edad mayor al primer parto está asociada con una reducción en la productividad vitalicia de esa hembra <sup>(46, 95, 123)</sup>. La edad al primer parto tiene una heredabilidad estimada baja a moderada, con un rango de 0,01 a 0,27.

### 3.3 Tamaño del folículo ovulatorio

El tamaño del folículo ovulatorio ha sido utilizado como indicador de éxito en la preñez en vaquillonas de razas carniceras y como una herramienta de selección potencial para mejorar la reproducción. El tamaño del folículo ovulatorio parece ser un indicador de la madurez, y por lo tanto de la fertilidad al momento de la IA. Se han observado mayores tasas de preñez en vaquillonas tratadas con protocolos para controlar el desarrollo

folicular que incrementan la probabilidad de que ovule un folículo de tamaño óptimo <sup>(99)</sup>. La heredabilidad del tamaño folicular no fue estimada.

### 3.4 Fecha de parición

Es definida como el día dentro del período de parición en el cual la vaca o vaquillona pare <sup>(46, 73)</sup>. La fecha de parición es un rasgo fácilmente registrable <sup>(11)</sup> y ha sido propuesto como un fuerte indicador de la fertilidad de la vaca carnicera debido a su impacto económico <sup>(8)</sup>.

Una fecha de parición más temprana está asociada con mayor peso al destete, debido a que esta maniobra se hace habitualmente a fecha fija más que a un peso o edad determinados <sup>(64)</sup>, y las hembras que paren más temprano tienden a ser reproductivamente más eficientes debido a lograr un mayor número de días postparto dentro de un servicio estacionado. Contrariamente, las vacas que paren al final no tienen suficiente tiempo para retornar al celo en el próximo servicio, manteniéndose en anestro postparto al final de un período de servicio corto <sup>(122)</sup>. La fecha de parición depende de los efectos del ternero sobre el parto, el inicio de la ciclicidad y fertilidad de la madre, la calidad del semen y la libido del padre durante el servicio anterior <sup>(73)</sup>. La heredabilidad de la fecha de parición es moderada, sin embargo los datos de la bibliografía son variables, con un rango de 0,03 a 0,21. Los días al parto es un rasgo similar y se estima como el intervalo entre la primera vez que la hembra es expuesta al toro y el parto <sup>(84)</sup>. Los valores genéticos de días al parto deberían ser considerados tanto para IA como para servicio natural <sup>(29)</sup>. La heredabilidad estimada de días al parto es baja, típicamente <0,10 <sup>(29, 84)</sup>.

### 3.5 Intervalos parto-primer servicio y primer servicio-concepción

El intervalo parto-primer inseminación es un rasgo binario que normalmente es expresado como la probabilidad que una hembra produzca exitosamente un ternero a partir de su primera IA. Una hembra que queda preñada y produce un ternero a partir de su primera IA podría compararse con una hembra en servicio natural que produce un ternero a partir de una preñez dentro de los primeros 21 días de servicio <sup>(25)</sup>. A pesar de que el intervalo parto-primer IA debería ser considerado como un rasgo a considerar dentro de los objetivos repro-

ductivos, las evaluaciones genéticas previamente realizadas no lo hicieron o lo “combinaron” como una medida de fertilidad emergente de datos de servicio natural e IA <sup>(28,29)</sup>. La heredabilidad de esta medida de fertilidad, tanto para servicio natural o IA, tiende a ser baja (0,03 a 0,05).

El intervalo parto-concepción también tiene baja heredabilidad, estimándose en 0,11 en vacas carniceras <sup>(69)</sup> y en 0,01 y 0,02 en vacas lecheras de primera y segunda lactancia, respectivamente <sup>(45)</sup>. El porcentaje de preñez al primer servicio es un parámetro reproductivo similar al intervalo parto-primer inseminación y porcentaje de preñez <sup>(86)</sup>. Sin embargo, este rasgo brinda a los productores una oportunidad de manejo para diferenciar las hembras que quedan preñadas a la primera IA de aquellas que requieren más servicios o quedan preñadas por servicio natural. El valor económico asociado con las vaquillonas que se preñan a la primera IA está relacionado al costo del semen, costo de la mano de obra para la detección de celo e IA propiamente dicha, y la calidad y diferencia de edad entre terneros entre la IA y el servicio natural. Además, las vaquillonas que se preñan a la primera IA paren más temprano y tienden a tener mayores porcentajes de preñez en los servicios subsecuentes <sup>(86)</sup>.

El porcentaje de preñez a primer servicio normalmente es incluido en los índices de selección de las vacas lecheras. La heredabilidad estimada es variable, desde 0,03 a 0,22.

Las concepciones por ciclo estral tienen mayor heredabilidad estimada (0,27; <sup>24)</sup> que las concepciones por servicio (0,03; <sup>71)</sup>. Son dos rasgos adicionales que consideran los servicios o inseminaciones en múltiples ciclos estrales. Estos rasgos son más típicos en los rodeos lecheros, debido a que los sistemas de producción de carne utilizan sincronización de celos, IATE, y luego repaso con toro (servicio natural), por lo tanto, la mayoría de las hembras carniceras tienen una única oportunidad de IA.

### 3.6 Porcentaje de preñez

La preñez en vaquillonas es un indicador de madurez sexual y frecuentemente es incluido en los objetivos reproductivos. La preñez en vaquillonas, al igual que en vacas, es una característica binaria (1= preñada; 0= vacía) definida como la probabilidad de que una vaquillona expuesta a su primera

temporada de servicio quede preñada <sup>(36)</sup> y mantenga la preñez hasta la palpación (aproximadamente 120 días postservicio; <sup>37)</sup>. Esto significa que la vaquillona alcanzó la pubertad y posterior preñez a los 12 a 15 meses de edad y que parirá a los 24 meses <sup>(36)</sup>. La heredabilidad estimada de la preñez en vaquillonas tiene un rango de 0,14 a 0,21. Una vaquillona que concibe temprano en su primer servicio tiene tendencia a una mayor productividad a lo largo de su vida <sup>(64)</sup>. Lograr que las vaquillonas queden preñadas y paren a los 2 años de edad contribuye significativamente a la rentabilidad del establecimiento, pero requiere de una importante inversión. Por lo tanto, es necesario que estas hembras permanezcan en el rodeo productivo y continúen aportando terneros para que la inversión sea sustentable <sup>(30)</sup>.

El porcentaje de preñez vitalicio es un rasgo económicamente relevante. Al igual que en vaquillonas, las preñeces y pariciones sucesivas son características binomiales luego de un servicio estacionado.

El porcentaje de parición tiene baja heredabilidad (rango de 0,02 a 0,08). El porcentaje de preñez vitalicio puede ser calculado dividiendo el número de preñeces por el número de años de servicio <sup>(88)</sup>. El porcentaje de preñez global puede ser afectado por varios factores, especialmente la duración del servicio.

El porcentaje de preñez, descripto binomialmente según el resultado de la concepción, tiene baja heredabilidad, con un rango de 0,04 a 0,12. Un servicio más prolongado es generalmente asociado con un mayor porcentaje de preñez, aunque con terneros destetados más livianos, asumiendo una fecha fija de destete <sup>(121)</sup>. La heredabilidad estimada de la probabilidad de preñez, o su equivalente de concepción y mantenimiento de la preñez <sup>(37)</sup>, varía desde baja (0,05) a alta (0,57). Sin embargo, la mayoría de las estimaciones fueron moderadas a bajas.

La preñez en bovinos es típicamente determinada por palpación rectal. Sin embargo, un indicador de preñez propuesto es el patrón de la isoenzima lactato deshidrogenasa en suero. Este patrón ha sido utilizado para detectar preñez con exactitud en vacas Holstein tan temprano como los 36 días de gestación. No obstante, el potencial del uso de esta herramienta para determinar la preñez en vacas carniceras puede ser limitado <sup>(125)</sup>. Existe una discusión relativa al uso del patrón de lactato deshidrogenasa

para el diagnóstico de gestación en rodeos comerciales. La prolactina también ha sido sugerida para el diagnóstico de preñez como proteína tisular <sup>(1)</sup>, pero no como hormona <sup>(105)</sup>. El dosaje de proteína B específica de preñez ha sido utilizado para el diagnóstico de gestación en rodeos comerciales <sup>(5)</sup>.

### 3.7 Porcentajes de destete y parición

El porcentaje de destete es una medida de la eficiencia reproductiva basada en el porcentaje de terneros destetados por vaca entorada <sup>(33)</sup> y frecuentemente es utilizado como una medida global de la eficiencia reproductiva. En base a nuestro conocimiento, no hay datos de heredabilidad estimada para esta característica. Sin embargo, el número de terneros logrados a lo largo de la vida útil tiene baja a moderada heredabilidad (0,07 a 0,36).

Un porcentaje de destete inferior al 100% indica que hay pérdidas en distintas etapas del ciclo productivo. Las pérdidas pueden ser atribuibles a que las hembras no queden preñadas durante el servicio, a muertes fetales durante la gestación, muertes peripartales y muertes del ternero desde el nacimiento hasta el destete. Las pérdidas de preñez representan las mayores mermas <sup>(33)</sup>.

El porcentaje de parición es definido como el número de terneros producidos por una vaca dividido el número de partos potenciales <sup>(64)</sup>. El porcentaje de parición tiene una heredabilidad estimada que varía de 0,02 a 0,17, con mayores valores en *Bos indicus*. La sobrevida del ternero también tiene baja heredabilidad, como lo reflejan las bajas estimaciones en el número de terneros nacidos vivos (0,00; <sup>24</sup>) y sobrevida del ternero (0,11; <sup>20</sup>).

### 3.8 Prolificidad

La productividad del ganado para carne puede ser teóricamente mejorada por un aumento en la prolificidad o un aumento en la frecuencia de ges-

taciones dobles. Sin embargo, las gestaciones dobles normalmente no son consideradas beneficiosas debido a su asociación con distocia, sobrevida del ternero reducida y retención de placenta.

La duración de la gestación es menor en caso de mellizos, lo que parece contribuir a un aumento en la retención placentaria <sup>(35)</sup>. Además, el porcentaje de preñez posterior es más bajo en caso de gestaciones dobles o crianza de 1 o 2 terneros que en el caso de hembras que paren y crían un solo ternero <sup>(34)</sup>. El Centro de Investigación estadounidense Roman L. Hruska (*Meat Animal Research Center*) estableció una población de vacas melliceras, con una tasa que inicialmente fue 3,4% y llegó a superar al 35% luego de 12 años de selección <sup>(35, 115)</sup>. La selección genética por melliceras en vaquillonas se basó en el seguimiento de la tasa de ovulación <sup>(35)</sup>. La heredabilidad de la tasa de ovulación varió de 0,11 a 0,38 para ovulación única. La heredabilidad global de la tasa de mellizos fue 0,09 <sup>(43)</sup>.

### 3.9 Intervalo entre partos

El intervalo entre partos (IEP) es el número de días entre dos partos consecutivos, y es una medición empleada como indicador de fertilidad en la hembra. En la mayoría de los sistemas de producción estadounidenses, el objetivo es 365 días. Si bien ha sido el principal parámetro de eficiencia reproductiva a lo largo de la vida útil de la vaca, puede no ser el más adecuado para evaluar la eficiencia reproductiva global. Un IEP corto puede estar asociado a vacas en las que su primer parto ocurrió tarde, y seleccionar estos animales puede significar una selección indirecta por mayor edad a la pubertad <sup>(7)</sup>. El IEP ha sido tradicionalmente utilizado para medir la eficiencia reproductiva, más que la distribución de los partos (fecha de parición). No obstante, muchas fuentes de desvío están asociadas con selección por IEP durante un



servicio estacionado <sup>(7)</sup>. Otro desafío asociado con la fecha de parición es la calificación adecuada de aquellas vacas descartadas en las que no hay registros de partos, especialmente en relación a la evaluación del toro sobre la información de su hija.

El IEP también es utilizado como medición de fertilidad en vacas lecheras, y es usualmente incorporado en los índices de selección. La heredabilidad de este rasgo es baja, con una estimación de 0,13 <sup>(46)</sup>.

### 3.10 Distocia

Es un factor de riesgo asociado con infertilidad subsecuente <sup>(32, 59)</sup>. Las distocias pueden ser calificadas, recibiendo el menor puntaje aquellas que requieren una pequeña asistencia y mayor, aquellas que exigen una cesárea <sup>(82)</sup>. La fertilidad es sustancialmente menor luego de una cesárea <sup>(27)</sup>. La distocia está asociada desfavorablemente con la sobrevivencia del ternero <sup>(20)</sup> y puede verse reflejada en otros parámetros reproductivos, incluyendo el porcentaje de parición. Además, el anestro, principal factor de la infertilidad postparto, está afectado por la dificultad al parto <sup>(106)</sup>. Se observa una mayor incidencia de distocia en vaquillonas precoces <sup>(33, 104)</sup> que paren terneros más pesados y con vaquillonas con mayor duración de la gestación <sup>(20)</sup>. La desproporción feto-pélvica es el principal factor causante de distocia. Puede darse en caso de terneros grandes, áreas pélvicas chicas o ambas <sup>(82)</sup>. La pelvimetría puede incluir diferentes mediciones como: ancho de la pelvis, altura de la pelvis y el cálculo del área pélvica. El ancho de la pelvis y la distocia están inversamente relacionados, mientras que el área pélvica es el factor materno con mayor impacto en las distocias <sup>(90)</sup>. El área pélvica afecta negativamente al puntaje de distocia <sup>(4, 54)</sup>. Sin embargo, las relaciones de mediciones pélvicas y las distocias son demasiado bajas para ser predictores precisos de dificultad al parto <sup>(60)</sup>. La heredabilidad de dificultad al parto es moderada (0,22 a 0,42; <sup>20, 71</sup>). La influencia de la dificultad al parto sobre la fertilidad está relacionada con los efectos sobre la involución uterina, que pueden prolongar el anestro postparto. La influencia de la distocia sobre la producción excede los objetivos de esta revisión. No obstante, la dificultad al parto demostró reducir la subsecuente producción de leche <sup>(80)</sup>, aumentar el riesgo de descarte <sup>(66)</sup>, disminuir la supervivencia del ternero desde el nacimiento hasta el destete <sup>(110)</sup>, y afectar la

subsecuente tasa de concepción <sup>(18)</sup>. Debido a estas relaciones, cualquier programa de mejoramiento genético por fertilidad debería considerar a las vacas que han experimentado una distocia.

### 3.11 Longevidad y permanencia

La longevidad expresa el tiempo que permanece la hembra en el rodeo reproductivo. Es influenciada por varias características económicamente importantes, incluyendo la reproducción.

Una mayor longevidad de la hembra se expresa en menor necesidad de vaquillonas de reposición, un mayor número de vacas de alta producción, y un menor número de descartes involuntarios de vacas. Sin embargo, la expresión tardía de este rasgo dificulta su inclusión en los programas de evaluación genética <sup>(100)</sup>.

Una definición alternativa de longevidad es “permanencia”, que puede ser definida como la probabilidad de la vaca de sobrevivir o permanecer en el rodeo hasta una edad determinada siempre que tenga la oportunidad <sup>(109)</sup>.

Al igual que la longevidad, la permanencia afecta la rentabilidad de un establecimiento, a través de varias características, como la productividad de la madre y del ternero (vacas maduras tienden a destetar terneros más pesados). La heredabilidad de la permanencia varía de 0,02 a 0,23, dependiendo del límite de edad considerado <sup>(109)</sup>.

## 4. Índices de selección

En la lechería se utilizan con frecuencia los índices de selección para evaluar la fertilidad de la hembra, generalmente definida como la capacidad para concebir y producir un ternero luego una inseminación <sup>(101)</sup>. Los índices de fertilidad deberían incluir una medición del resultado de la concepción o de la tasa reproductiva medida por intervalos o ambos. Estos intervalos deberían incluir el IEP días al primer servicio (intervalo desde el parto hasta la primera IA) e intervalo parto-concepción. Otros caracteres son tasa de no retorno (refleja la concepción y el mantenimiento de la preñez), la condición corporal (medida indirecta de la fertilidad), progesterona en leche (indicador del comienzo de la actividad luteal postparto o reinicio de actividad ovárica) y fertilidad del toro (indicador de la fertilidad de la hija). Debido al buen resultado de estas herramientas en los programas de selección genética del ganado lechero, debería investi-

garse la aplicación de programas similares en las razas carniceras.

## 5. Mediciones reproductivas en el macho

Las mediciones de fertilidad deben ser realizadas tanto en la hembra como en el macho. El servicio natural ha sido y continua siendo el método más utilizado en los rodeos de cría, por lo tanto la fertilidad de los toros es crítica<sup>(9,13)</sup>. El manejo del toro está altamente entrelazado con la fertilidad de la hembra, la fertilidad del toro y el manejo de la vaca. La fertilidad del macho puede estar afectada por la cantidad hembras asignadas, duración del servicio, así como la capacidad de servicio de los toros<sup>(9,42,94)</sup>. Las mediciones de fertilidad pueden estar superficialmente aumentadas en toros expuestos a un bajo número de vacas durante un largo período de servicio<sup>(97)</sup>. Sin embargo, determinar una relación apropiada de vacas por toro es un desafío debido a las influencias del tamaño y topografía de los potreros, cantidad de aguadas, y comportamiento<sup>(39,51,79)</sup>.

### 5.1 Circunferencia escrotal

Es utilizada para predecir la calidad y cantidad de tejido espermatozoario y la edad a la pubertad. Un valor de 28 a 30 cm está generalmente asociado con el inicio de la pubertad. Específicamente, 52 y 97% de los machos son púberes cuando la CE alcanza los 28 y 30 cm, respectivamente<sup>(97)</sup>.

Una mayor CE ha sido asociada con mayor producción espermática pero con menor calidad seminal<sup>(10)</sup>. Los reportes de heredabilidad para esta característica han variado desde 0,20 hasta 0,78. Debido a que los rasgos reproductivos de las hembras son en general de baja heredabilidad, son utilizados rasgos correlacionados o indicadores de mayor heredabilidad para lograr una selección más efectiva<sup>(37,89)</sup>. La CE en toritos de 1 año es normalmente utilizada para mejorar la fertilidad de la hembra debido a su correlación con edad a la pubertad en vaquillonas<sup>(37)</sup>. Si bien es consistente favorable, la magnitud de esta correlación varía, desde  $\leq 0,80$  a  $\geq 0,15$ . La CE es un indicador sencillo y económico para medir. No obstante, la CE ha estado también positivamente correlacionada con rasgos de crecimiento<sup>(77)</sup>. Debido a estos hallazgos y al hecho que sea fácilmente medible, los

programas de selección genética han sido exitosos en aumentar la CE. Por lo tanto, la asociación estadística entre CE y las medidas de fertilidad de la vaquillona no son tan fácilmente detectadas en los datos recolectados antes de 1990<sup>(74,77,105)</sup>.

### 5.2 Evaluación de la aptitud reproductiva

La falta de un método confiable para determinar la pubertad en el macho ha generado dificultades en la selección de toritos por fertilidad. El examen de aptitud reproductiva es la práctica más empleada para medir la fertilidad<sup>(55)</sup>, y consiste en un examen físico, medición de la CE y evaluación de la calidad seminal. La capacidad de realizar el servicio no es típicamente incluida en la evaluación, si bien son esenciales en el resultado de preñez<sup>(9)</sup>. La Sociedad Estadounidense de Teriogenología estableció en 1983 una guía para evaluar la aptitud reproductiva<sup>(3)</sup>, la que fue revisada en 1993<sup>(16)</sup>. El examen de aptitud reproductiva permite mejorar la eficiencia a través de la identificación de los toros subfértiles y la evaluación de toros previamente calificados como fértiles<sup>(17)</sup>. Los toros con influencia racial de *Bos indicus* tienen menores tasas de resultado satisfactorio, así como los toros más jóvenes en las pruebas convencionales de un año<sup>(55)</sup>. Las causas de resultado insatisfactorio son numerosas, sin embargo las principales razones pueden agruparse en animales con inadecuada CE o inadecuada movilidad espermática o morfología anormal. Para aprobar el examen los toros deben tener una CE de 30 cm a los 365 días de edad<sup>(25)</sup>. En base a nuestra información, no hay estimaciones de heredabilidad para la probabilidad de aprobar el examen de aptitud reproductiva.

### 5.3 Libido y capacidad de servicio

El comportamiento reproductivo, tal como lo refleja la evaluación de la libido y de la capacidad de servicio, puede ser usado para medir la capacidad reproductiva de los toros. Libido y capacidad de servicio son términos frecuentemente utilizados en forma indistinta. Sin embargo, libido es un término que describe el comportamiento sexual de un toro, mientras que la capacidad de servicio es la medición del número de montas y copulaciones con una hembra.

La prueba de libido se realiza con un toro trabajando con una vaca sujeta. El puntaje de

libido incluye diferentes variables, como el número y vigor de intentos de servicio y una evaluación subjetiva del interés sexual. La prueba de capacidad de servicio utiliza hembras tratadas con esteroides o en anestro, sedadas e inmovilizadas, expuestas a un pequeño número de toros.

Este rasgo puede ser medido de dos formas:

1) Por la cantidad de servicios en un tiempo determinado o 2) Con un puntaje subjetivo asignado por aquellos que trabajan con toros, y que puede considerar interrupciones o distracciones<sup>(87)</sup>.

Las pruebas de capacidad de servicio y de libido están altamente correlacionadas<sup>(15)</sup>, y los toros que tienen buen puntaje en ellas logran altos porcentajes de preñez en los rodeos<sup>(13,14)</sup>. No fueron hallados en la bibliografía datos de heredabilidad para estas características.

## 6. Análisis genético de rasgos de fertilidad

Una gran cantidad de características han sido utilizadas como indicadores de fertilidad intrínseca, sin embargo pocas han sido empleadas para evaluaciones genéticas raciales. Las excepciones son CE, preñez en vaquillonas y permanencia, que se han utilizado para calcular las DEP's en distintas razas, como las Asociaciones Americanas de Angus, Hereford y Angus colorado.

Las predicciones genéticas de fertilidad han sido históricamente problemáticas debido a una cantidad limitada de datos, dado que recientemente la mayoría de las asociaciones de razas estadounidenses han implementado sistemas de reportes de rodeos completos. El reporte de información de rodeos completos es crítico para características como permanencia y longevidad, en las que las vacas pueden ser descartadas por razones no vinculadas a la fertilidad. Además, muchas mediciones tradicionales de fertilidad

han sido complicadas para analizar estadísticamente debido a la naturaleza binaria (ej. 0 o 1; si o no), pero con los avances recientes en análisis de sobrevida<sup>(100)</sup> y umbral, estas limitaciones han sido superadas, como lo muestra el trabajo de Snelling y col.<sup>(109)</sup>. Si bien estos rasgos binarios reflejan una distribución genética continua, son expresados como distribución binaria, enmascarando potencialmente diferencias genéticas entre individuos. Con el uso de reportes de rodeos completos, los avances en informática y las mejoras en las metodologías estadísticas, debería darse una especial consideración al uso de estas herramientas de evaluación hoy disponibles. El propósito de esta revisión fue analizar los rasgos más empleados para la selección y descarte de animales. Debido al alto costo y diversidad de las predicciones genéticas utilizadas para la selección por fertilidad, las correlaciones genéticas entre caracteres de importancia económica y sus indicadores, y los cambios metodológicos no han sido considerados en esta revisión, pero requieren ser analizados en futuros trabajos que consideren la predicción genética de rasgos de fertilidad.

## 7. Implicancias

La reproducción es un factor económicamente importante en el sistema de producción de carne, y la información disponible sugiere que hay oportunidad de mejorar la eficiencia reproductiva en muchos rodeos. No obstante, el desarrollo de los programas de mejoramiento genético ha sido mucho más lento que el de programas de caracteres de crecimiento y carcasa. Probablemente debido a la dificultad en desarrollar programas de recolección de datos de rodeos completos, los desafíos de manejar datos binarios en sistemas de servicio estacionado y el tiempo necesario para recoger toda la información necesaria para las prediccio-

nes genéticas de una gran cantidad de indicadores de fertilidad identificados.

Para implementar procesos de selección efectivos en la mejora de la fertilidad deben ocurrir tres cosas: 1) identificar los caracteres económicamente importantes, 2) identificar los predictores que puedan ser manejados en condiciones de campo y 3) que las asociaciones de criadores manejen esa información para generar programas genéticos disponibles para los criadores.

## 8. Agradecimientos

Los autores colaboran como miembros del Programa *Western Education-Extension Research Activities (WERA1) program for Beef Cattle Breeding*.

## 9. Bibliografía

1. Anthony, R. V., R. Liang, E. P. Kayl, and S. L. Pratt. 1995. The growth hormone/prolactin gene family in ruminant placentae. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 49:83.
2. Arije, G. F., and J. N. Wiltbank. 1971. Age and weight at puberty in Hereford heifers. *J. Anim. Sci.* 33:401.
3. Ball, L., R. S. Ott, and R. G. Mortimer. 1983. Manual for breeding soundness examination of bulls. *Theriogenology* 12:1.
4. Bellows, R. A., R. E. Short, D. C. Anderson, B. W. Knapp, and O. F. Pahnish. 1971. Cause and effect relationships associated with calving difficulty and calf birth weight. *J. Anim. Sci.* 33:407.
5. Bertolini, M., C. R. Wallace, and G. B. Anderson. 2006. Expression profile and protein levels of placental products as indirect measures of placental function in in vitro-derived bovine pregnancies. *Reproduction* 131:163.
6. Bertrand, J. K. 1999. Improving genetic evaluation of beef cattle in North America. p. 138 in *Proc. 31st Beef Improv. Fed. Meet., Roanoke, VA. Beef Improv. Fed., Manhattan, KS.*
7. Bourdon, R. M., and J. S. Brinks. 1983. Genetic, environmental and phenotypic relationships among gestation length, birth weight, growth traits and age at first calving in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 55:543.
8. Bourdon, R. M., and J. S. Brinks. 1986. Scrotal circumference in yearling Hereford bulls: Adjustment factors, heritabilities and genetic, environmental and phenotypic relationships with growth traits. *J. Anim. Sci.* 62:958.
9. Boyd, G. W., D. D. Lunstra, and L. R. Corah. 1989. Serving capacity of crossbred yearling beef bulls. I. Single-sire mating behavior and fertility during average and heavy mating loads at pasture. *J. Anim. Sci.* 67:60.
10. Brito, L. F., A. E. Silva, L. H. Rodrigues, F. V. Vieira, L. A. Deragon, and J. P. Kastelic. 2002. Effect of age and genetic group on characteristics of the scrotum, testes and testicular vascular cones, and on sperm production and semen quality in AI bulls in Brazil. *Theriogenology* 58:1175.
11. Buddenberg, B. J., C. J. Brown, and A. H. Brown. 1990. Heritability estimates of calving date in Hereford cattle maintained on range under natural mating. *J. Anim. Sci.* 68:70.
12. Buskirk, D. D., D. B. Faulkner, and F. A. Ireland. 1995. Increased postweaning gain of beef heifers enhances fertility and milk production. *J. Anim. Sci.* 73:937.
13. Carpenter, B. B., D. W. Forrest, L. R. Sprott, A. Rocha, D. E. Hawkins, J. R. Beverly, H. E. Hawkins, and N. R. Parish. 1992. Performance of *Bos indicus*-influenced bulls in serving capacity tests and multiple-sire breeding groups. *J. Anim. Sci.* 70:1795.
14. Chenoweth, P. J. 1997. Bull libido/serving capacity. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 13:331.
15. Chenoweth, P. J., J. S. Brinks, and T. M. Nett. 1979. A comparison of three methods of assessing sex-drive in yearling beef bulls and relationships with testosterone and LH levels. *Theriogenology* 12:223.
16. Chenoweth, P. J., F. M. Hopkins, J. C. Spitzer, and R. E. Larsen. 1993. Guidelines for using the bull breeding soundness evaluation forms. *Theriogenology Handbook B-10. Society for Theriogenology, Montgomery, AL.*
17. Coe, P. H. 1999. Associations among age, scrotal circumference, and proportion of morphologically normal spermatozoa in young beef bulls during an initial breeding soundness examination. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 214:1664.
18. Colburn, D. J., G. H. Deutscher, M. K. Nielsen, and D. C. Adams. 1997. Effects of sire, dam traits, calf traits, and environment on dystocia and subsequent reproduction of two-year-old heifers. *J. Anim. Sci.* 75:1452. Cooperative Research Centre for Beef Genetics Technologies. 2006. *Beef Bulletin.* <http://www.beefcfc.com.au> Accessed Dec. 2, 2008.
19. Coulter, G. H., and R. H. Foote. 1979. Bovine testicular measurements as indicators of reproductive performance and their relationships to productive traits in cattle: A review. *Theriogenology* 11:297.
20. Cundiff, L. V., M. D. MacNeil, K. E. Gregory, and R. M. Koch. 1986. Between and within-breed genetic analysis of calving traits and survival to weaning in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 63:27.
21. Darwash, A. O., G. E. Lamming, and J. A. Woolliams. 1997. Estimation of genetic variation in the interval from calving to postpartum ovulation of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:1227.
22. Day, M. L., and L. H. Anderson. 1998. Current concepts in the control of puberty in cattle. *J. Anim. Sci.* 76(Suppl. 3):1. (Abstr.)
23. De Vries, M. J., and R. F. Veerkamp. 2000. Energy balance of dairy cattle in relation to milk production variables and fertility. *J. Dairy Sci.* 83:62.
24. Dearborn, D. D., R. M. Koch, L. V. Cundiff, K. E. Gregory, and G. E. Dickerson. 1973. An analysis of reproductive traits in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 36:1032.
25. Decker, J. E., P. Luna-Nevarez, A. M. Encinas, R. M. Enns, and M. G. Thomas. 2008. Case study: Scrotal circumference in beef bulls-Prediction of measures at 365 days of age from measures at 240 days of age with data from the Tucumcari bull test. *Prof. Anim. Sci.* 42:488.
26. Dickerson, G. E. 1970. Efficiency of animal production-Molding the biological components. *J. Anim. Sci.* 30:849.
27. Dobson, H., J. E. Tebble, R. F. Smith, and W. R. Ward.

2001. Is stress really all that important? *Theriogenology* 55:65.
28. Donoghue, K. A., R. Rekaya, J. K. Bertrand, and I. Misztal. 2004a. Genetic evaluation of calving to first insemination using natural and artificial insemination mating data. *J. Anim. Sci.* 82:362.
  29. Donoghue, K. A., R. Rekaya, J. K. Bertrand, and I. Misztal. 2004b. Threshold-linear analysis of measures of fertility in artificial insemination data and days to calving in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 82:987.
  30. Doyle, S. P., B. L. Golden, R. D. Green, and J. S. Brinks. 2000. Additive genetic parameter estimates for heifer pregnancy and subsequent reproduction in Angus females. *J. Anim. Sci.* 78:2091.
  31. Doyle, S. P., R. D. Green, B. L. Golden, G. L. Mathews, C. R. Comstock, and D. G. LeFever. 1996. Genetic parameter estimates for heifer pregnancy rate and subsequent rebreeding rate in Angus cattle. *J. Anim. Sci.* 74(Suppl .1):117. (Abstr.)
  32. Ducrot, C., I. Cimarosti, F. Bugnard, A. Van de Wiele, and J. M. Philipot. 1994. Risk factors for infertility in nursing cows linked to calving. *Vet. Res.* 25:196.
  33. Dziuk, P. J., and R. A. Bellows. 1983. Management of reproduction of beef cattle, sheep, and pigs. *J. Anim. Sci.* 57:355.
  34. Echternkamp, S. E., and K. E. Gregory. 1999b. Effects of twinning on postpartum reproductive performance in cattle selected for twin births. *J. Anim. Sci.* 77:48.
  35. Echternkamp, S. E., and K. E. Gregory. 1999a. Effects of twinning on gestation length, retained placenta, and dystocia. *J. Anim. Sci.* 77:39.
  36. Eler, J. P., J. A. Silva, J. B. Ferraz, F. Dias, H. N. Oliveira, J. L. Evans, and B. L. Golden. 2002. Genetic evaluation of the probability of pregnancy at 14 months for Nellore heifers. *J. Anim. Sci.* 80:951.
  37. Evans, J. L., B. L. Golden, R. M. Bourdon, and K. L. Long. 1999. Additive genetic relationships between heifer pregnancy and scrotal circumference in Hereford cattle. *J. Anim. Sci.* 77:2621.
  38. Foote, R. H. 2003. Fertility estimation: A review of past experience and future prospects. *Anim. Reprod. Sci.* 75:119.
  39. Fordyce, G., L. A. Fitzpatrick, N. J. Cooper, V. J. Doogan, J. De Faveri, and R. G. Holroyd. 2002. Bull selection and use in northern Australia. 5. Social behavior and management. *Anim. Reprod. Sci.* 71:81.
  40. Garcia, M. R., M. Amstalden, S. W. Williams, R. L. Stanko, C. D. Morrison, D. H. Keisler, S. E. Nizielski, and G. L. Williams. 2002. Serum leptin and its adipose gene expression during pubertal development, the estrous cycle, and different seasons in cattle. *J. Anim. Sci.* 80:2158.
  41. Garcia, M. R., M. Amstalden, C. D. Morrison, D. H. Keisler, and G. L. Williams. 2003. Age at puberty, total fat and conjugated linoleic acid content of carcass, and circulating metabolic hormones in beef heifers fed a diet high in linoleic acid beginning at four months of age. *J. Anim. Sci.* 81:261-268.
  42. Godfrey, R. W., and D. D. Lunstra. 1989. Influence of single or multiple sires and serving capacity on mating behavior of beef bulls. *J. Anim. Sci.* 67:2897.
  43. Gregory, K. E., G. L. Bennett, L. D. Van Vleck, S. E. Echternkamp, and L. V. Cundiff. 1997. Genetic and environmental parameters for ovulation rate, twinning rate, and weight traits in a cattle population selected for twinning. *J. Anim. Sci.* 75:1213.
  44. Gregory, K. E., D. B. Laster, L. V. Cundiff, G. M. Smith, and R. M. Koch. 1979. Characterization of biological types of cattle-Cycle III: II. Growth rate and puberty in females. *J. Anim. Sci.* 49:461.
  45. Grosshans, T., Z. Z. Xu, L. J. Burton, D. L. Johnson, and K. L. Macmillan. 1997. Performance and genetic parameters for fertility of seasonal dairy cows in New Zealand. *Livest. Prod. Sci.* 51:41.
  46. Gutierrez, J. P., I. Alvarez, I. Fernandez, L. J. Royo, J. Diez, and F. Goyache. 2002. Genetic relationships between calving date, calving interval, age at first calving and type traits in beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 78:215.
  47. Hahn, J. 1969. Inheritance of fertility in cattle inseminated artificially. *J. Dairy Sci.* 52:240.
  48. Hawkins, D. E., M. K. Peterson, M. G. Thomas, J. E. Sawyer, and R. C. Waterman. 2000. Can beef heifers and young postpartum cows be physiologically and nutritionally manipulated to optimize reproduction. *J. Anim. Sci.* 77:1.
  49. Herring, W., and D. Patterson. 1997. Genetics of reproduction: Consideration for sire selection. <http://extension.missouri.edu/explorepdf/agguides/ansci/g02039.pdf> Accessed Dec. 2, 2008.
  50. Hoekstra, J., A. W. van der Lugt, J. H. J. van der Werf, and W. Ouweltjes. 1994. Genetic and phenotypic parameters for milk production and fertility traits in upgraded dairy cattle. *Livest. Prod. Sci.* 40:225.
  51. Holroyd, R. G., V. J. Doogan, J. De Faveri, G. Fordyce, M. R. McGowan, J. D. Bertram, D. M. Vankan, L. A. Fitzpatrick, G. A. Jayawardhana, and R. G. Miller. 2002. Bull selection and use in northern Australia. 4. Calf output and predictors of fertility of bulls in multiple-sire herds. *Anim. Reprod. Sci.* 71:67.
  52. Hough, R. L. 2000. Up-date-Whole Herd Reporting (WHR) status for various breed associations. p. 132 in Proc. 32nd Beef Improv. Fed. Meet., Wichita, KS. Beef Improv. Fed., Manhattan, KS.
  53. Hough, R. L., and K. Ponder. 2001. Proposed whole herd reporting guidelines. p. 120 in Proc. 33rd Beef Improv. Fed. Meet., San Antonio, TX. Beef Improv. Fed., Manhattan, KS.
  54. Johnson, S. K., G. H. Deutscher, and A. Parkhurst. 1988. Relationships of pelvic structure, body measurements, pelvic area and calving difficulty. *J. Anim. Sci.* 66:1081.
  55. Kennedy, S. P., J. C. Spitzer, F. M. Hopkins, H. L. Hidgon III, and W. C. Bridges Jr. 2002. Breeding soundness evaluations of 3,648 yearling beef bulls using the 1993 Society for Theriogenology guidelines. *Theriogenology* 58:947.
  56. King, R. G., D. D. Kress, D. C. Anderson, D. E. Doornbos, and P. J. Burfening. 1983. Genetic parameters in Herefords for puberty in heifers and scrotal circumference in bulls. *Proc. West. Sec. Am. Soc. Anim. Sci.* 34:11.
  57. Knights, S. A., R. L. Baker, D. Gianola, and J. B. Gibb. 1984. Estimates of heritabilities and of genetic and phenotypic correlations among growth and reproductive traits in yearling Angus bulls. *J. Anim. Sci.* 58:887.

58. Koots, K. R., J. P. Gibson, C. Smith, and J. W. Wilton. 1994. Analyses of published genetic parameter estimates for beef production traits. 1. Heritability. *Anim. Breed. Abstr.* 62:309.
59. Kristula, M. A., and R. Bartholomew. 1998. Evaluation of prostaglandin F2 alpha treatment in dairy cows at risk for low fertility after parturition. *JAMA* 212:702.
60. Laster, D. B. 1974. Factors affecting pelvic size and dystocia in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 38:496.
61. Laster, D. B., H. A. Glimp, and K. E. Gregory. 1972. Age and weight at puberty and conception in different breeds and breedcrosses of beef heifers. *J. Anim. Sci.* 34:1031.
62. Laster, D. B., G. M. Smith, L. V. Cundiff, and K. E. Gregory. 1979. Characterization of biological types of cattle (Cycle II). II. Postweaning growth and puberty of heifers. *J. Anim. Sci.* 48:500.
63. Latimer, F. G., L. L. Wilson, M. F. Cain, and W. R. Stricklin. 1982. Scrotal measurements in beef bulls: Heritability estimates, breed and test station effects. *J. Anim. Sci.* 54:473.
64. Lesmeister, J. L., P. J. Burfening, and R. L. Blackwell. 1973. Date of first calving in beef cows and subsequent calf production. *J. Anim. Sci.* 36:1.
65. Lopez, R., M. G. Thomas, D. M. Hallford, D. H. Keisler, G. A. Silver, B. S. Obeidat, M. D. Garcia, and C. R. Krehbiel. 2006. Case study: Metabolic hormone profiles and evaluation of associations of metabolic hormones with body fat and reproductive characteristics of Angus, Brangus, and Brahman heifers. *Prof. Anim. Sci.* 22:273.
66. Lopez de Maturana, E., E. Ugarte, and O. Gonzalez-Recio. 2007. Impact of calving ease on functional longevity and herd amortization costs in Basque Holsteins using survival analysis. *J. Dairy Sci.* 90:4451.
67. Lucy, M. C. 2001. Reproductive loss in highproducing dairy cattle: Where will it end? *J. Dairy Sci.* 84:1277.
68. Lunstra, D. D. 1982. Testicular development and onset of puberty in beef bulls. p 26 in *Beef Res. Prog. Rep. No. 1, ARS-NC-21*. Roman L. Hruska US Meat Anim. Res. Center, Clay Center, NE.
69. Lunstra, D. D., K. E. Gregory, and L. V. Cundiff. 1988. Heritability estimates and adjustment factors for the effects of bull age and age of dam on yearling testicular size in breeds of bulls. *Theriogenology* 30:127.
70. Mackinnon, M. J., J. F. Taylor, and D. J. S. Hetzel. 1990. Genetic variation and covariation in beef cow and bull fertility. *J. Anim. Sci.* 68:1208.
71. MacNeil, M. D., L. V. Cundiff, C. A. Dinkel, and R. M. Koch. 1984. Genetic correlations among sex-limited traits in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 58:1171.
72. MacNeil, M. D., T. W. Geary, G. A. Perry, A. J. Roberts, and L. J. Alexander. 2006. Genetic partitioning of variation in ovulatory follicle size and probability of pregnancy in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 84:1646.
73. MacNeil, M. D., and S. Newman. 1994. Genetic analysis of calving date in Miles City Line 1 Hereford cattle. *J. Anim. Sci.* 72:3073.
74. Martin, L. C., J. S. Brinks, R. M. Bourdon, and L. V. Cundiff. 1992. Genetic effects on beef heifer puberty and subsequent reproduction. *J. Anim. Sci.* 70:4006.
75. Martinez, G. E., R. M. Koch, L. V. Cundiff, K. E. Gregory, and L. D. Van Vleck. 2004a. Number of calves born, number of calves weaned, and cumulative weaning weight as measures of lifetime production for Hereford cows. *J. Anim. Sci.* 82:1903.
76. Martinez, G. E., R. M. Koch, L. V. Cundiff, K. E. Gregory, and L. D. Van Vleck. 2004b. Genetic parameters for six measures of length of productive life and three measures of lifetime production by 6 yr after first calving for Hereford cows. *J. Anim. Sci.* 82:1912.
77. Martinez-Velazquez, G., K. E. Gregory, G. L. Bennett, and L. D. Van Vleck. 2003. Genetic relationships between scrotal circumference and female reproductive traits. *J. Anim. Sci.* 81:395.
78. Mathiew, G. L., R. D. Green, J. S. Brinks, B. L. Golden, R. M. Enns, and D. G. LeFever. 1995. Genetic parameters for conception rate to synchronized breeding in Angus cattle. *Proc. West. Sec. Am. Soc. Anim. Sci.* 46:217.
79. McCosker, T. H., A. F. Turner, C. J. McCool, T. B. Post, and K. Bell. 1989. Brahman bull fertility in a north Australian rangeland herd. *Theriogenology* 32:285.
80. McGuirk, B. J., R. Forsyth, and H. Dobson. 2007. Economic cost of difficult calvings in the United Kingdom dairy herd. *Vet. Res.* 161:685.
81. McNerney, M. J. 1977. Genetics of puberty in beef heifers. MS Thesis. Colorado State Univ. Fort Collins.
82. Meijering, A. 1984. Dystocia and stillbirth in cattle-A review of causes, relations, and implications. *Livest. Prod. Sci.* 11:143.
83. Melton, B. E. 1995. Conception to consumption: The economics of genetic improvement. p. 40 in *Proc. 27th Beef Improv. Fed. Res. Symp. Annu. Meet., Sheridan, WY*. Beef Improv. Fed., Manhattan, KS.
84. Meyer, K., K. Hammond, P. F. Parnell, M. J. Mackinnon, and S. Sivarajasingam. 1990. Estimates of heritability and repeatability for reproductive traits in Australian beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 25:15.
85. Middleton, B. K., and J. B. Gibb. 1991. An overview of beef cattle improvement programs in the United States. *J. Anim. Sci.* 69:3861.
86. Minick Bormann, J., L. R. Totir, S. D. Kachman, R. L. Fernando, and D. E. Wilson. 2006. Pregnancy rate and first-service conception rate in Angus heifers. *J. Anim. Sci.* 84:2022.
87. Morris, C. A., R. L. Baker, and N. G. Cullen. 1992. Genetic correlations between pubertal traits in bulls and heifers. *Livest. Prod. Sci.* 31:221.
88. Morris, C. A., and N. G. Cullen. 1994. A note on genetic correlations between pubertal traits of males or females and lifetime pregnancy rate in beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 39:291.
89. Morris, C. A., J. A. Wilson, G. L. Bennett, N. G. Cullen, S. M. Hickey, and J. C. Hunter. 2000. Genetic parameters for growth, puberty, and beef cow reproductive traits in a puberty selection experiment. *N. Z. J. Agric. Res.* 43:83.
90. Morrison, D. G., W. D. Williamson, and P. E. Humes. 1986. Estimates of heritabilities and correlations of traits associated with pelvic area in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 63:432.
91. Nebel, R. L., and M. L. McGilliard. 1993. Interactions of high milk yield and reproductive performance in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:3257.
92. Neely, J. D., B. H. Johnson, E. U. Dillard, and O. W.

- Robison. 1982. Genetic parameters for testes size and sperm number in Hereford bulls. *J. Anim. Sci.* 55:1033.
93. Nelsen, T. C., R. E. Short, J. J. Urlick, and W. L. Reynolds. 1986. Heritabilities and genetic correlations of growth and reproductive measurements in Hereford bulls. *J. Anim. Sci.* 63:409.
  94. Neville, W. E., K. L. Richardson, and P. R. Utley. 1987. Breeding performance of bulls assigned either to 40 cows per bull or 80 cows per two bulls during the breeding period. *J. Anim. Sci.* 65:872.
  95. Nunez-Dominguez, R., L. V. Cundiff, G. E. Dickerson, K. E. Gregory, and R. M. Koch. 1991. Lifetime production of beef heifers calving first at two versus three years of age. *J. Anim. Sci.* 69:3467.
  96. Olson, T. A., F. M. Peacock, and M. Koger. 1993. Reproductive and maternal performance of rotational three-breed, and inter se crossbred cows in Florida. *J. Anim. Sci.* 71:2322.
  97. Parkinson, T. J. 2004. Evaluation of fertility and infertility in natural service bulls. *Vet. J.* 168:215.
  98. Patterson, D. J., R. C. Perry, G. H. Kiracofe, R. A. Bellows, R. B. Stagmiller, and L. R. Corah. 1992. Management considerations in heifer development and puberty. *J. Anim. Sci.* 70:4018.
  99. Perry, G. A., M. F. Smith, A. J. Roberts, M. D. MacNeil, and T. W. Geary. 2007. Relationship between size of the ovulatory follicle and pregnancy success in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 85:684.
  100. Rogers, P. L., C. T. Gaskins, K. A. Johnson, and M. D. MacNeil. 2004. Evaluating longevity of composite beef females using survival analysis techniques. *J. Anim. Sci.* 82:860.
  101. Royal, M. D., A. O. Darwash, A. P. F. Flint, R. Webb, J. A. Woolliams, and G. E. Lamming. 2000. Declining fertility in dairy cattle: Changes in traditional and endocrine parameters. *Anim. Sci.* 70:487.
  102. Royal, M. D., A. P. F. Flint, and J. A. Woolliams. 2002. Genetic and phenotypic relationships among endocrine and traditional fertility traits and production traits in Holstein-Friesian dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85:958.
  103. Rust, T., and E. Groenveld. 2001. Variance component estimation on female fertility traits in beef cattle. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 31:131.
  104. Sheldon, I. M., and H. Dobson. 2003. Reproductive challenges facing the cattle industry at the beginning of the 21st century. *Reprod. Suppl.* 61:1.
  105. Shirley, K. L., M. G. Thomas, D. H. Keisler, D. M. Hallford, D. M. Montrose, G. A. Silver, and M. D. Garcia. 2006. Case study: A Chihuahuan Desert Brangus breeding program: Feed efficiency, metabolic hormones, and puberty in heifers sired by bulls with differing expected progeny differences for growth and scrotal circumference. *Prof. Anim. Sci.* 22:48.
  106. Short, R. E., R. A. Bellows, R. B. Staigmiller, J. G. Berardinelli, and E. E. Custer. 1990. Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *J. Anim. Sci.* 68:779.
  107. Smith, B. A., J. S. Brinks, and G. V. Richardson. 1989. Relationships of sire scrotal circumference to offspring reproduction and growth. *J. Anim. Sci.* 67:2881.
  108. Smith, B. A., H. A. Fitzhugh Jr., L. V. Cundiff, T. C. Cartwright, and K. E. Gregory. 1976. A genetic analysis of maturing patterns in straightbred and crossbred Hereford, Angus, and Shorthorn cattle. *J. Anim. Sci.* 43:389.
  109. Snelling, W. M., B. L. Golden, and R. M. Bourdon. 1995. Within-herd genetic analysis of stayability of beef females. *J. Anim. Sci.* 73:993.
  110. Tarres, J., J. Casellas, and J. Piedrafita. 2005. Genetic and environmental factors influencing mortality up to weaning of Bruna dels Pirineus beef calves in mountain areas. A survival analysis. *J. Anim. Sci.* 83:543.
  111. Thallman, R. M., L. V. Cundiff, K. E. Gregory, and R. M. Koch. 1999. Germplasm evaluation in beef cattle—Cycle IV: Postweaning growth and puberty of heifers. *J. Anim. Sci.* 77:2651.
  112. Toelle, V. D., and O. W. Robison. 1985. Estimates of genetic correlations between testicular measurements and female reproductive traits in cattle. *J. Anim. Sci.* 60:89.
  113. Urioste, J. L., I. Misztal, and J. K. Bertrand. 2007a. Fertility traits in spring-calving Aberdeen Angus cattle. 1. Model development and genetic parameters. *J. Anim. Sci.* 85:2854.
  114. Urioste, J. L., I. Misztal, and J. K. Bertrand. 2007b. Fertility traits in spring-calving Aberdeen Angus cattle. 2. Model comparison. *J. Anim. Sci.* 85:2861.
  115. Van Vleck, L. D., and K. E. Gregory. 1996. Genetic trend and environmental effects in a population of cattle selected for twinning. *J. Anim. Sci.* 74:522.
  116. Veerkamp, R. F., and B. Beerda. 2007. Genetics and genomics to improve fertility in high producing dairy cows. *Theriogenology* 68S:S266.
  117. Wall, E., S. Brotherstone, J. F. Kearney, J. A. Woolliams, and M. P. Coffey. 2005. Impact of nonadditive genetic effects in the estimation of breeding values for fertility and correlated traits. *J. Dairy Sci.* 88:376.
  118. Weigel, K. A. 2006. Prospects for improving reproductive performance through genetic selection. *Anim. Reprod. Sci.* 96:323.
  119. Weigel, K. A., and K. A. Barlass. 2003. Results of a producer survey regarding crossbreeding on US dairy farms. *J. Dairy Sci.* 86:4148.
  120. Werre, J. E., and J. S. Brinks. 1986. Relationships of age at puberty with growth and subsequent productivity in beef heifers. *Proc. West. Sec. Am. Soc. Anim. Sci.* 37:300.
  121. Werth, L. A., S. M. Azzam, M. K. Nielsen, and J. E. Kinder. 1991. Use of a simulation model to evaluate the influence of reproductive performance and management decisions on net income in beef production. *J. Anim. Sci.* 69:4710.
  122. Wiltbank, J. N. 1970. Research needs in beef cattle reproduction. *J. Anim. Sci.* 31:755.
  123. Wiltbank, J. N., S. Roberts, J. Nix, and L. Rowden. 1985. Reproductive performance and profitability of heifers fed to weigh 272 or 318 kg at the start of the first breeding season. *J. Anim. Sci.* 60:25.
  124. Winder, J. A., B. J. Rankin, and C. C. Bailey. 1992. Maternal performance of Hereford, Brangus, and reciprocal crossbred cows under semidesert conditions. *J. Anim. Sci.* 70:1032.
  125. Wright, R. W., and J. Grammer. 1980. Lactate dehydrogenase isoenzyme patterns as a method of pregnancy detection in cattle. *Theriogenology* 13:271.