



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS EN CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS EN BOVINOS PARA CARNE

María Noel REISSIG MUSACCO

Magíster en Ciencias Agrarias
opción Ciencias Animales

Agosto 2022

**ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS
GENÉTICOS EN CARACTERÍSTICAS
REPRODUCTIVAS EN BOVINOS PARA
CARNE**

María Noel REISSIG MUSACCO

Magíster en Ciencias Agrarias
opción Ciencias Animales

Agosto 2022

Tesis aprobada por el tribunal integrado por Ing. Agr. (Dra.) Ana Carolina Espasandín, Ing. Agr. (PhD.) Gabriel Ciappesoni, y Dr. Fernando Baldi, el 29 de Agosto de 2022. Autor/a: Ing. Agr. María Noel Reissig Musacco.
Director/a: Ing. Agr. (PhD.) Olga Ravagnolo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A mis padres, por su apoyo constante.

A mi tutora Olga Ravagnolo, por guiarme en el desarrollo de este trabajo.

A Ignacio Aguilar y Mario Lema, por sus aportes a mi formación y crecimiento.

A todo el equipo de Mejoramiento Genético Animal de INIA Las Brujas.

A mi familia, amigos/as y todos los que me acompañaron durante el proceso.

TABLA DE CONTENIDO

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	VI
SUMMARY	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN GENERAL</u>	1
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PRODUCCIÓN GANADERA EN EL URUGUAY.....	1
1.2. FISIOLÓGÍA DE LA REPRODUCCIÓN BOVINA Y CONSECUENTE MANEJO DEL RODEO DE CRÍA.....	4
1.3. CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS.....	13
1.3.1. <u>Edad a la pubertad y primer parto</u>	14
1.3.2. <u>Éxito de preñez y destete</u>	15
1.3.3. <u>Éxito y días al parto</u>	16
1.3.4. <u>Intervalos interpartos o parto-concepción</u>	17
1.3.5. <u>Longevidad y permanencia</u>	18
1.4. RELEVANCIA ECONÓMICA DE LAS CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN.....	19
1.5. MEJORAMIENTO GENÉTICO.....	23
1.5.1. <u>Parámetros genéticos</u>	27
1.5.1.1.Heredabilidad.....	27
1.5.1.2.Correlaciones.....	38
1.5.2. <u>Evaluaciones genéticas</u>	44
1.5.2.1. Características reproductivas como herramienta de selección....	47
1.5.3. <u>Registros de eventos reproductivos</u>	53
1.5.3.1.Software SRGen.....	58
1.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	60

1.6.1.	<u>Modelos estadísticos</u>	60
	1.6.1.1. Modelo lineal y umbral.....	60
	1.6.1.2. Modelo animal y modelo padre.....	63
	1.6.1.3. Modelo unicaracter y multicaracter.....	65
1.6.2.	<u>Estadística clásica y bayesiana</u>	66
1.6.3.	<u>Estimación de componentes de varianza</u>	67
1.7.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	71
2.	<u>GENETIC PARAMETERS OF DAYS AT FIRST CALVING AND FIRST CALVING SUCCESS IN URUGUAYAN BEEF CATTLE</u>	72
2.1.	ABSTRACT	72
2.2.	INTRODUCTION.....	73
2.3.	MATERIALS AND METHODS.....	75
	2.3.1. <u>Data</u>	75
	2.3.2. <u>Traits</u>	76
	2.3.3. <u>Statistical Model</u>	76
2.4.	RESULTS AND DISCUSSION.....	77
	2.4.1. <u>Models</u>	77
	2.4.2. <u>Descriptive Statistics</u>	78
	2.4.3. <u>Univariate Analysis</u>	79
	2.4.4. <u>Bivariate Analysis</u>	81
	2.4.5. <u>Overall Discussion</u>	83
2.5.	CONCLUSION.....	84
2.6.	DECLARATIONS OF INTEREST.....	84
2.7.	ACKNOWLEDGMENTS.....	84
2.8.	REFERENCES	84
3.	<u>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES</u>	89
4.	<u>BIBLIOGRAFÍA GENERAL</u>	91

RESUMEN

Información uruguaya de un reporte total del rodeo, extraída del software SRGen, fue analizada por primera vez en este estudio. Registros de vaquillonas Angus bajo condiciones de producción uruguayas fueron utilizados para estimar parámetros genéticos para características reproductivas, las cuales no son incluidas actualmente en las evaluaciones genéticas nacionales. Días al primer parto fue definida como el intervalo en días entre el inicio del servicio y el parto subsiguiente. A las vaquillonas que fallaron en el parto se les asignó un valor penalizado de 21 días más que el máximo valor dentro de su grupo contemporáneo. Éxito al primer parto fue definida como la presencia de un parto en una hembra presente en el servicio, resultando en una distribución binaria. Los modelos incluyeron el efecto de grupo contemporáneo, una combinación de rodeo, año de parto y tipo de servicio, y los efectos edad al servicio, varianza genética aditiva del padre y efecto residual. Las medias posteriores (SD) de heredabilidad fueron 0,10 (0,04) para días al primer parto y 0,021 (0,017) para éxito al primer parto. La media posterior (SD) favorable negativa obtenida en la correlación genética entre ambas características fue -0,39 (0,26). Estos resultados indican que días al primer parto puede ser incluida en las evaluaciones genéticas nacionales en representación de las características reproductivas. Esta inclusión permitiría una mejora genética en los rodeos Angus de Uruguay en su desempeño reproductivo directamente en esta característica e indirectamente en éxito al primer parto.

Palabras clave: bovinos de carne, heredabilidad, parámetros genéticos, características reproductivas

GENETIC PARAMETERS ESTIMATION IN REPRODUCTIVE TRAITS IN BEEF CATTLE

SUMMARY

Uruguayan total herd reporting data from SRGen software was analyzed for the first time in this study. Angus heifer records under Uruguayan productive conditions were used to estimate genetic parameters for reproductive traits, which are not included at present in the national genetic evaluation. Days at first calving was defined as the interval in days between the first mating date and the subsequent calving. Heifers that failed to calve were assigned a penalty value of 21 days beyond the maximum day within contemporary group (CG). First calving success was defined as the presence of calf in a heifer present at the mating, resulting in a binary distribution. The models included the effect of CG, a combination of herd, year of calving and type of mating, and the effects age at mating, sire additive genetic effects, and residual. Posterior means (SD) of heritability was 0.10 (0.04) for days at first calving and 0.021 (0.017) for first calving success. Favourable negative genetic correlation posterior mean (SD) obtained for both traits was -0.39 (0.26). These results indicate that days at first calving can be included in national genetic evaluations representing reproductive traits. This inclusion would allow a genetic improvement of Uruguayan Angus cattle reproductive performance directly in this trait and indirectly in first calving success.

Keywords: beef cattle, heritability, genetic parameter, reproductive traits

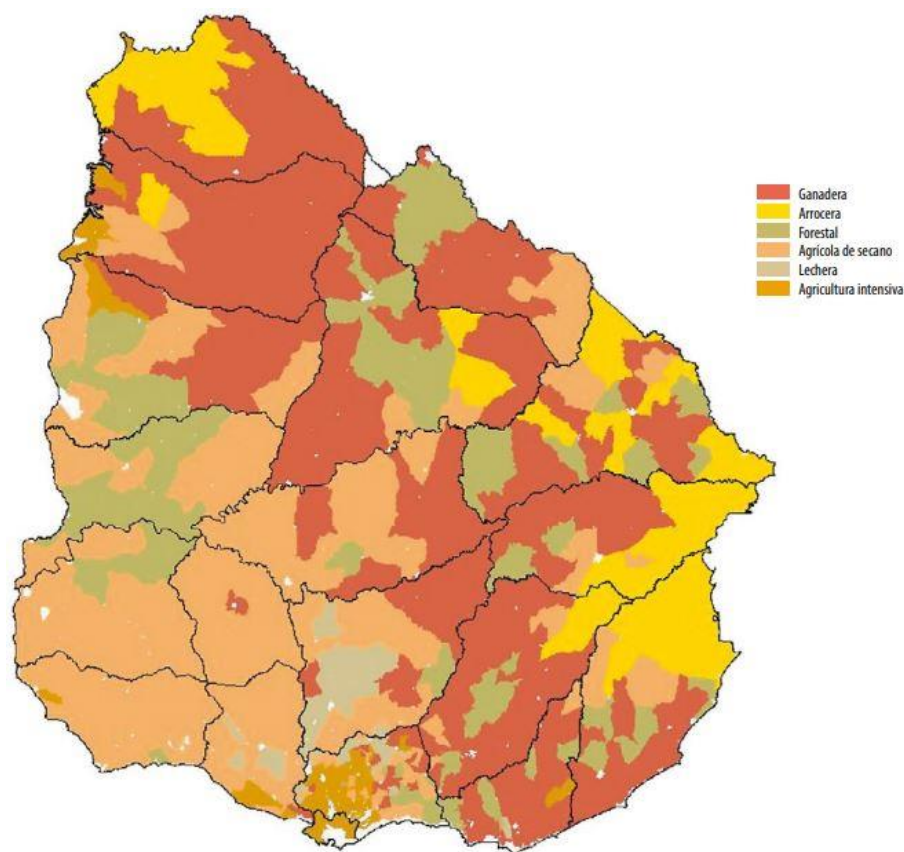
1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PRODUCCIÓN GANADERA EN EL URUGUAY

La producción ganadera en Uruguay ocupa 15 millones de hectáreas con un total de 48.650 explotaciones y 11,5 millones de existencias vacunas (DIEA, 2019). Las razas bovinas ganaderas predominantes son Hereford y Aberdeen Angus, cuyos rodeos puros conforman, en conjunto, el 61 % de los rodeos nacionales (MGAP-OPYPA, 2018).

La carne bovina se encuentra en el primer lugar en las exportaciones de productos de origen agropecuario del año 2018. Según Soares de Lima y Montossi (2012), la ganadería vacuna se encuentra bien posicionada a nivel internacional con precios competitivos que repercuten positivamente en el mercado interno, evolucionado favorablemente para la cría. Esta rentabilidad permite, además, la incorporación de tecnologías en el rubro. La carne bovina corresponde al 22,3 % del total de las exportaciones y es seguido en importancia por productos y semillas agrícolas con un 15,1 % de las exportaciones (DIEA, 2019). En cuanto a la ubicación de la actividad ganadera sobre el territorio nacional en relación con el resto de las actividades de producción agropecuaria, se observa una dominancia sobre la superficie centro-oeste del territorio extendiéndose de norte a sur, tal como se observa en la figura 1.

Figura 1. Regiones agrupadas por actividades de producción agropecuaria en el año 2011.



Fuente: DIEA (2019).

La orientación ganadera criadora, base de la producción de carne en el país, ocupa el 55 % de la superficie y corresponde al 52 % de las explotaciones. En cuanto al resto de las orientaciones ganaderas, el 11 % de los establecimientos corresponden a predios de ciclo completo, el 10 %, a invernadores, el 4 %, a recriadores, el 3 % tienen ganado ovino exclusivamente y el 20 % son establecimientos sin animales. El 57 % de los predios poseen una superficie de menos de 100 ha y los predios mayores a 3000 ha corresponden al 1 %. Los sistemas ganaderos en Uruguay se basan en la utilización del campo natural de forma extensiva, con un bajo porcentaje de mejoramientos de pasturas que corresponde a 11,5 %, promedio, en los últimos 8 años (DIEA, 2019).

El sector criador ha sido históricamente desplazado a los suelos menos productivos y, según describe Quintans (2010), estos sistemas se sustentan, principalmente, sobre campo natural, con pequeñas áreas de campo mejorado, en algunos casos, e intervenciones nutricionales estratégicas con base en suplementación con productos extraprediales. Rovira (2008) explica que, en Uruguay —así como en aquellos países en donde la explotación ganadera se realiza bajo condiciones de pastoreo—, normalmente, los rodeos de cría ocupan los campos de peor calidad y las invernadas, los mejores. A medida que el medio ambiente va mejorando, los vientres van dejando su lugar a los animales de engorde. Esto de ninguna manera quiere decir que los vientres no necesitan buenas condiciones alimenticias ni que cualquier medio ambiente es adecuado para ellos. Los campos «criadores» son aquellos que presentan una muy marcada estacionalidad en su producción forrajera, con un pico de máxima producción en la segunda mitad de la primavera y un mínimo muy acentuado en el invierno. Estas condiciones no son las más adecuadas para engordar, pero sí lo pueden ser para la cría, ya que el nivel nutritivo de un vientre varía mucho a lo largo del año. Bajo estas condiciones, resulta fundamental que el criador maneje su rodeo haciendo coincidir las máximas necesidades nutricionales con la máxima producción del campo y las mínimas con el invierno (Rovira, 2008).

La eficiencia reproductiva del ganado vacuno en Uruguay es baja, mantiene un promedio de porcentaje de terneros destetados por vaca de cría entorada en torno al 65 % durante los últimos ocho años (DIEA, 2019). El tipo de servicio predominante es la monta natural, con una duración promedio de 90 días, en una época de entore fija al año, utilizando en el entorno del 2 al 4 % de toros, según el número de vacas. Solo el 13 % de los productores realizan inseminación artificial (IA), lo que abarca el 8 % de los vientres (MGAP-OPYPA, 2018). Generalmente, presenta una duración de 45 días y se insemina a las vacas que demuestran sintomatología de celo. En cuanto a la edad al primer entore, sobre el total de vaquillonas, el promedio de los últimos 8 años indica que un 71 % corresponden a vaquillonas de 1 a 2 años y un 29

%, a vaquillonas de más de 2 años (DIEA, 2019). Generalmente, el ternero permanece al pie de la madre hasta los 6 meses, edad a la cual se desteta.

Las características reproductivas son las de mayor importancia económica en nuestros sistemas de producción, según estudios nacionales como Pravia et al. (2014) y Urioste et al. (1998). Sin embargo, en Uruguay se dispone de un sistema de evaluación genética para las principales razas bovinas carniceras del país, centrado, fundamentalmente, en características de crecimiento y calidad de canal, sin disponer aún de una evaluación genética para características reproductivas. A nivel internacional, se observa la misma tendencia: se ven las características reproductivas con mayores dificultades en cuanto a su inclusión en las evaluaciones genéticas, en comparación con las características de crecimiento. Esto se debe a la dificultad de registro y su consecuente falta de información y, también, a la baja heredabilidad que presentan, la cual determina un progreso genético más lento (Cammack et al., 2009, Garrick, 2005, Johnston, 2014, Koots et al., 1994a).

1.2 FISIOLÓGÍA DE LA REPRODUCCIÓN BOVINA Y CONSECUENTE MANEJO DEL RODEO DE CRÍA

La fisiología de la reproducción de la hembra bovina incluye varios procesos complejos y cíclicos a lo largo de su vida. Conocer estos procesos resulta clave para entender cómo realizar un manejo del rodeo más adecuado. Cuáles son los cambios que vive una hembra a lo largo del año y a lo largo de su vida, qué tiempos debemos respetar y cuales podemos optimizar, cuando prestar especial atención al nivel nutritivo y qué hay detrás de una posible selección genética son aspectos a tener en cuenta para optimizar el manejo del rodeo de cría.

El ciclo estral es el período de tiempo que hay entre dos celos consecutivos cuando la vaca está vacía, bien alimentada y sin procesos patológicos que impidan su manifestación. El vientre adulto en estas

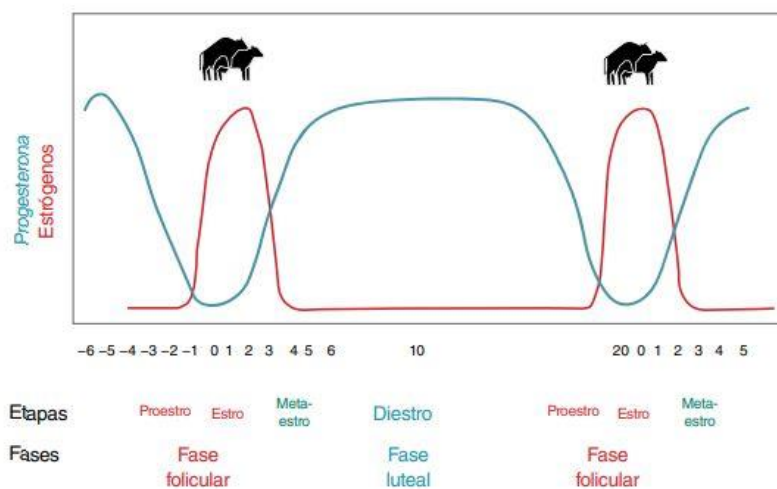
condiciones presenta celo cada 21 ± 4 días, siendo en las vaquillonas un día más corto (Fernández Abella, 1995). El ciclo estral es poliéstrico, no estacional, y se repite sucesivamente en el animal no preñado durante todo el año (Ungerfeld, 2020). El celo en ganado Bos Taurus tiene una duración de 18 horas (13-17 horas), siendo en las vaquillonas de 14 horas. La ovulación se produce, aproximadamente, 30 horas después de empezado el celo. Este patrón cíclico se inicia en la pubertad y se prolonga durante toda la vida del animal, aunque se pueden observar interrupciones de los ciclos por causas fisiológicas o patológicas. El ciclo estral se divide en cuatro etapas: metaestro (primeros 3 a 5 días), diestro (hasta el día 16), proestro (hasta el día 20) y, por último, el celo (día 21). Estas se pueden reagrupar en dos fases de acuerdo a los perfiles hormonales: la folicular, que abarca el proestro y celo, y la luteal, que comprende el metaestro y el diestro. Cuando la vaca está en celo, presenta signos exteriores que lo hacen fácilmente identificable: está muy intranquila, permite que la monten y monta a otras vacas y presenta la vulva más hinchada, entre otros (Fernández Abella, 1995).

Son cuatro los órganos que interfieren, principalmente, en la coordinación del ciclo estral. Estos son el hipotálamo, la hipófisis, los ovarios y el útero. Dichos órganos se comunican, en gran medida, a través de hormonas, principalmente la GnRH, secretada por el hipotálamo; la LH y la FSH, secretadas por la hipófisis; el estradiol (estrógeno), la inhibina y la progesterona, de origen ovárico, y la $\text{PGF2}\alpha$, secretada por el útero. Otras hormonas como la prolactina y los andrógenos también participan en la regulación, aunque con menor importancia (Ungerfeld, 2020).

Durante la fase folicular, se produce el desarrollo folicular final y el celo. En esta fase, se incrementa la frecuencia de pulsos de la hormona LH y se eleva su concentración basal, aumento conocido como el pico de LH, el cual es el desencadenante de la ovulación. Durante la fase luteal, mientras la concentración de progesterona es alta, los estrógenos inhiben la secreción de GnRH y LH. En cambio, una vez que regresa el cuerpo lúteo en la fase folicular

y cae la progesterona, la retroalimentación entre la GnRH, la LH y los estrógenos es positiva (Ungerfeld, 2020). En la figura 2 se muestran de manera esquemática las concentraciones de progesterona y estrógenos durante el ciclo estral.

Figura 2. Concentraciones de progesterona y estrógenos durante las etapas y fases del ciclo estral bovino.



Fuente: Ungerfeld (2020).

La pubertad es un fenómeno reproductivo sumamente importante en la vida del animal, ya que marca el punto de partida de su aptitud reproductora. En el caso de las hembras, generalmente se la define como la manifestación del primer celo o estro en la vida de la ternera. Desde un punto de vista más estricto, se considera que una ternera alcanza la pubertad en el momento en que presenta el primer celo acompañado de la ovulación correspondiente (Arije y Wiltbank, 1971, Rovira, 1974). Lo más común es que previamente se hayan producido celos silentes, es decir, ovulaciones sin manifestación visible de celo. También es posible el caso inverso, aunque no es tan común, de manifestación de celo, pero sin acompañamiento de ovulación, lo que se denomina celo falso (Rovira, 2008). En las hembras vacunas, muchos son los factores que pueden influir en la edad y el peso en el cual se alcanza la

pubertad. Entre ellos, se destacan el plano nutricional, la genética (entre razas y entre animales de una misma raza), el fotoperíodo, la bioestimulación, los tratamientos hormonales y la sanidad (Quintans y Roig, 2008). Es posible adelantar la manifestación de la pubertad, dentro de ciertos límites; principalmente, a través del manejo de la alimentación. A medida que se mejora el nivel nutritivo, disminuye la edad y aumenta el peso en que la pubertad se manifiesta (Rovira, 1974).

El adelanto de la edad en que la hembra tiene su primera parición también es posible. Esta práctica trae aparejada una disminución en la categoría de animales improductivos, lo que aumenta la eficiencia global del proceso de producción de carne. Es técnicamente posible obtener un ternero más en la vida útil de la vaca si se la entora por primera vez a los 15 meses de edad, en lugar de entorarla cerca de los dos años, lo cual es más común a nivel nacional. Sin embargo, también es cierto que para tener éxito en la aplicación de esta práctica de manejo, se deben tener en cuenta algunas consideraciones importantes. Por ejemplo, el entore a los 15 meses aumenta los costos de producción al exigir un nivel alimenticio muy bueno y mucha mayor atención y cuidados, unido también al riesgo de pérdidas de animales (Rovira, 1974).

Según Quintans y Roig (2008), en nuestras condiciones pastoriles es común observar animales que entran en celo (pubertad) en el otoño temprano y luego caen en anestro en invierno, principalmente por bajos niveles nutricionales. Quintans (2008a) expresa su preocupación por la marcada tendencia genética en el incremento de los pesos de nuestros ganados jóvenes que repercute en un mayor tamaño adulto, principalmente cuando la mayoría de estos animales se desarrollan en ambientes restrictivos de producción (campo natural). La autora indica que esto no quiere decir que el incremento del tamaño de los animales esté afectando su fertilidad, lo cual aún no se sabe con certeza, pero si el 70 % de lo que consume un animal se

destina a mantenimiento, un animal con un tamaño adulto mayor requerirá mayor alimentación para cumplir con sus necesidades básicas.

Dentro de los objetivos primarios del manejo de un rodeo de cría está el de procurar que los vientres reinicien su actividad sexual posparto lo antes posible, de manera tal que tengan el tiempo suficiente para volver a quedar preñados, además de incrementar las probabilidades de parir temprano. Que cada vaca produzca un ternero todos los años y sin atrasarse en la fecha de parición son las características que mejor definen un buen manejo del rodeo de cría (Rovira, 1974). Es por esto que la infertilidad posparto puede ser un serio problema que reduzca la eficiencia en producción de los sistemas de producción de carne. Muchos factores contribuyen a la infertilidad mediante una compleja interacción de mecanismos fisiológicos y endocrinos (Short et al., 1990). El conocimiento de los factores que pueden afectar el reinicio de la actividad sexual posparto resulta sumamente útil para hacer un manejo adecuado del rodeo de cría, tendiente a lograr una muy alta fertilidad y productividad. Existe un consenso de que el anestro (no entrar en celo) es la causa más importante de la infertilidad en el ganado vacuno, tanto carnívoros como lecheros (Rovira, 1974).

Según Quintans (2008b), el rápido reinicio del celo después del parto ha sido largamente reconocido como el objetivo más importante para que una vaca dentro del rodeo alcance un nivel reproductivo óptimo, y es por eso que gran parte de los trabajos de nutrición-reproducción en ganado de carne están dirigidos a acortar el período parto-primer celo o lo que comúnmente denominamos anestro posparto. Hay muchos factores que influyen en la duración del anestro (edad, sanidad, bioestimulación, etc.), pero los de mayor importancia son la nutrición y el amamantamiento (Quintans, 2008b, Rovira, 1974, Short et al., 1990). La regulación de la nutrición y el amamantamiento son una opción de manejo viable para disminuir el intervalo desde el parto hasta el celo. Los nutrientes consumidos por la vaca son distribuidos a las distintas funciones fisiológicas, y dentro del orden de prioridades, el reinicio

de ciclos estrales luego de la parición es una de las últimas. Las diferentes técnicas de control del amamantamiento pueden agruparse en reducción de la frecuencia del amamantamiento (a una o dos veces diarias), destetes temporarios (supresión del amamantamiento por un determinado período que puede ir desde 24 horas a varias semanas) y destete superprecoz, precoz y anticipado (supresión radical del amamantamiento retirando los terneros de las madres a diferentes edades) (Quintans, 2008b, Short et al., 1990). Sin embargo, la respuesta a los tratamientos de destete variará junto con otros factores como edad, nutrición, genotipo de la vaca y edad del ternero (Short et al., 1990).

Short et al. (1990) también señalan al anestro como el principal componente de la infertilidad posparto, pero indican que la involución uterina y los cortos ciclos estrales, así como la infertilidad general, también están involucrados. La involución uterina consiste en el proceso que sufre el útero, inmediatamente luego del parto, de volver a su posición, tamaño y consistencia normales, propios del vientre no gestante, luego de verse afectadas por la gestación. Este proceso en la vaca tarda en completarse entre 30 y 50 días, según diversos factores que pueden incidir sobre la rapidez de la involución. Los vientres primerizos pueden demorar, en promedio, alrededor de 7 días más que las vacas adultas. El comienzo de la actividad ovárica posterior al parto no parece estar muy condicionado por el proceso de la involución uterina: se producen ovulaciones e, incluso, celos antes de completarse la involución del útero (Rovira, 1974). Short et al. (1990) indican que una involución uterina incompleta previene que la vaca sea fértil los primeros 20 días luego del parto, y, desde un punto de vista práctico, la involución uterina no es un problema para el ganado de carne, ya que no afecta el anestro; son muy pocas las vacas que exhibirían estro lo suficientemente temprano luego del parto como para que la involución uterina interfiera en la concepción. Los ciclos estrales cortos también contribuyen a la infertilidad posparto durante los primeros 30 a 40 días luego del parto. Short et al. (1972), en su estudio, indican que el primer ciclo estral posparto era más

corto que un ciclo estral normal. Según indica Short et al. (1990) en su revisión, la ovulación seguida de estro en un ciclo estral corto genera óvulos que pueden ser fertilizados; sin embargo, no se detecta preñez, aparentemente debido a que el cuerpo lúteo regresa antes de que el ovario reciba la señal del útero de que la preñez existía. Luego de los 40 días, la mayoría de los ciclos estrales tienen una duración normal, lo que permite desarrollar exitosamente los procesos para generar una preñez (Short et al., 1990).

El reinicio de la actividad sexual posparto comúnmente coincide con la manifestación del primer celo siguiente al parto. Sin embargo, la actividad ovárica comienza bastante antes, sin coincidir. generalmente. la primera ovulación posparto con el primer celo posparto (celo silente). Cuanto antes se presente el primer celo posparto, más oportunidades tendrá la vaca para volver a quedar preñada (Rovira, 1974). Es de interés para el criador el momento de aparición del primer celo posparto y, especialmente, que la vaca continúe ciclando normalmente. En vacas sanas y con un manejo nutritivo adecuado, el primer celo debería manifestarse entre los 40 y 50 días posparto. En este momento, la vaca ya tiene el potencial genético y fisiológico para reiniciar su actividad sexual, y pueden entrar nuevamente en celo aquellos animales que tengan un manejo nutritivo adecuado (Rovira, 2008). La actividad sexual posparto culmina con la nueva concepción (Rovira, 1974).

Quintans (2010) identifica como las principales limitantes reproductivas en nuestros rodeos de cría a los bajos porcentajes de preñez, los intervalos largos parto-celo y la edad tardía al primer servicio. La investigación nacional ha desarrollado diferentes alternativas tecnológicas con el objetivo de mejorar la productividad de los rodeos de cría vacunos, pero apuntando a la nutrición estratégica y el control del amamantamiento, focalizándose, principalmente, en incrementar la eficiencia en las etapas de recría de la hembra y en disminuir la duración del anestro posparto en vaquillonas y vacas (Quintans, 2010). Rovira (1974) señala que, si bien el índice de preñez no es la medida final de

la eficiencia reproductiva de un rodeo de cría, se torna imprescindible que sea alto, ya que no se pueden obtener muchos terneros destetados por vaca entoradas si previamente no se han logrado preñar.

La categoría de vientres más difíciles de preñar en nuestro país es la que está criando su primer ternero al pie, ya sea con 2 o 3 años de edad. El vientre de primera parición naturalmente demora más días en reiniciar su actividad sexual posparto que los vientres con más de una parición. A igualdad de condiciones, las vacas de primera cría tienen un anestro más prolongado. De aquí la importancia de la parición temprano, así como también la sugerencia del manejo diferencial de esta categoría (Rovira, 2008).

La capacidad de las hembras en producción de alcanzar el objetivo de producir un ternero por año, como plantean Darwash et al. (1997), dependerá, entre otros factores, de que la hembra no solo conciba, sino que también lo haga temprano en su servicio. La relevancia de identificar animales que conciban más temprano es que estos paren al comienzo de la estación y tienen mayor tiempo de recuperación para el siguiente servicio (Cammack et al., 2009). Según Rovira (2008), la meta del criador debe ser no solo obtener una alta tasa de procreo, sino también un altísimo porcentaje de terneros tempranos, nacidos en las primeras 3 semanas de la parición, ya que, de esta forma, se logra: 1. alargar el período entre el parto y el comienzo del entore, para que la vaca tenga mayor tiempo para recuperar estado; 2. incrementar la cantidad de vacas en celo para cuando comience el entore y 3. aumentar la tasa de concepción en el primer servicio posparto, al haber transcurrido más días desde el parto.

El intervalo interpartos debe oscilar alrededor de los 365 días a efectos de que las vacas no se atrasen en su fecha de parición. Si se atrasaran, corren riesgo de fallar al no contar con tiempo suficiente para reiniciar la actividad sexual antes de que se retiren los toros de los rodeos. Para no atrasarse en la fecha de parición, el intervalo parto-concepción no debería ser mayor a 82 días, ya que la gestación, en promedio, dura unos 283 días ($283 + 82 = 365$)

(Rovira, 1974). Según explica Rovira (2008), suponiendo un sistema con entore de 60 días, el vientre que quedó servido el primer día del entore anterior tendrá su parto el primer día del período de parición y tendrá 4 celos posibles para quedar preñado en el siguiente entore. En cambio, aquel vientre que quedó preñado el último día del entore tendrá un solo celo, una sola oportunidad, para volver a quedar preñado al siguiente entore. Como explica el autor en ese ejemplo, cuando empieza el entore, la primera en parir ya lleva 82 días transcurridos desde el parto y es probable que ya haya entrado en celo; en cambio, la última en parir solo tiene 22 días de parida al comenzar el entore y aún sigue en anestro. El autor concluye que la meta de un buen manejo reproductivo es el intervalo interpartos de 365 días, donde la vaca tiene 82 días posparto para volver a quedar preñada. Short et al. (1990) sugieren que el período de servicio sea de 45 días refugando a las no preñadas, ya que, teniendo en cuenta una gestación de 280 días y un intervalo de 365 días entre el inicio de los servicios, las vacas tendrían una alta probabilidad de quedar preñadas en el inicio del servicio, dado que ya habrían pasado los efectos de involución uterina y cortos ciclos estrales, así como también los efectos de anestro si se les proporciona un manejo adecuado. Según indican estos autores, períodos de servicios más largos aumentarían los problemas con estos tres factores y aquellas que conciban luego de los 82 días en el período de servicio no habrán parido para el momento en que inicie el próximo período de servicio.

Vale considerar que, finalmente, la hembra debería destetar exitosamente a un ternero. Desde el momento en que se inicia el entore hasta que se realiza el destete correspondiente a los terneros concebidos en ese entore transcurren, aproximadamente, 12 a 16 meses, dependiendo de la edad al destete. Este es un largo período de tiempo durante el cual pueden suceder algunas pérdidas, por ejemplo: preñez, parición, mortalidad prenatal, mortalidad al parto, mortalidad posparto, destete. Cuando el porcentaje de vacas diagnosticadas preñadas es muy similar al porcentaje de terneros

destetados, significa que han sido mínimas las pérdidas de terneros en los períodos pre- y posnatal (Rovira, 2008).

Contar con pariciones tempranas es, también, importante al momento del destete desde el punto de vista económico. Terneros más pesados al destete están normalmente asociados con fechas tempranas de parto (Bourdon y Brinks, 1983; Urioste, 2008), debido a que el destete generalmente ocurre en un día específico y no a un peso o edad determinados del ternero.

1.3 CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS

La información reproductiva es de naturaleza compleja, siendo la culminación de muchos eventos que ocurren durante la época de cría y, por lo tanto, hay muchas mediciones diferentes del desempeño reproductivo. Es poco probable que una medición individual sea capaz de predecir completamente el rendimiento reproductivo. Seguramente, será necesario usar en forma conjunta varias medidas (Donoghue, 2006). Existe una variedad de características que pueden ser asociadas a la eficiencia reproductiva, con diferencias en relación con el tipo de información necesaria para su obtención, dificultad y costo de medición, grado de asociación con fertilidad, variabilidad genética, etc. (Lema y Ravagnolo, 2008). Algunas características fallan en proveer un indicador de cuando la hembra pare en el período de parto, otras están fuertemente influenciadas por el ambiente, mientras que otras no pueden ser medidas fácilmente (Donoghue, 2006).

Si lo que buscamos es no mantener animales improductivos en el sistema de producción (o mantener la menor cantidad posible) intentando que cada hembra destete un ternero por año, es importante también que esta inicie su actividad reproductiva lo antes posible y se mantenga en este ciclo productivo la mayor cantidad de tiempo. Para que una hembra inicie su vida reproductiva, debe alcanzar la pubertad y estar ciclando normalmente antes de su primer servicio. Para que esta sea capaz de destetar un ternero es necesario que entre en celo, logre concebir, mantenga su gestación, tenga un

parto exitoso y que el ternero sobreviva y se desarrolle de forma correcta hasta su destete. Según Rovira (2008), las características deseables de un vientre para considerarlo productivo son: precocidad sexual, alta tasa de concepción, rapidez en la reiniciación de la actividad sexual posparto, retención de servicios con gestaciones que llegan a término, facilidad de parto, buena producción de leche durante los primeros 3 meses de lactancia, longevidad, tamaño adecuado y bajas necesidades de mantenimiento en relación con su tamaño. Por lo tanto, fertilidad, como indican Cammack et al. (2009), es un término general y no una característica sola y fácilmente definida. Abarca una variedad de características importantes en la reproducción animal. Johnston (2014) también indica que la tasa de reproducción es una función de muchos componentes, y para el ganado de carne, continúa hasta el destete del ternero.

A continuación, se detallan algunas características reproductivas en subgrupos de acuerdo a cuándo son medidas y a qué parte del proceso intentan evaluar: edad a la pubertad y al primer parto como medidas de precocidad reproductiva; preñez y destete como medidas de éxito en estas dos etapas; éxito y días al parto, las cuales son medidas durante el período de parto; medidas de intervalo entre el parto y el reinicio de la actividad sexual o el parto subsiguiente, los cuales miden el tiempo transcurrido entre estos procesos de acuerdo a la importancia ya mencionada, y longevidad y permanencia como evaluaciones de la producción de la hembra a lo largo de su vida o luego de un largo período.

1.3.1 Edad a la pubertad y al primer parto

La edad a la pubertad es una característica utilizada por autores como Smith et al. (1989), Martínez-Velázquez et al. (2003), Arije y Wiltbank (1971) y Morris et al. (2000). La medición de esta característica puede ser por detección de monta, ya sea por observación o marcadores, a través de mediciones de la concentración de progesterona en sangre o en leche, o a través de mediciones del tamaño o madurez de los folículos por palpación o

por ultrasonido. Estas mediciones conllevan cierta dificultad de muestreo, ya sea por el tiempo de observación o por los análisis de laboratorio o ultrasonido necesarios, y, como señala Cammack et al. (2009), a pesar del conocimiento de la fisiología de la pubertad, la edad a la pubertad es una característica difícil de observar en producciones a campo.

Martínez-Velázquez et al. (2003) y Dákay et al. (2006) trabajaron con la característica edad al primer parto y la definieron como el período de tiempo transcurrido entre la fecha de nacimiento y la fecha de primer parto. Esta característica también fue estudiada por autores como Gutiérrez et al. (2002), Smith et al. (1989), Koots et al. (1994a) y Bourdon y Brinks (1982). Una ventaja de esta medición es su fácil registro, ya que únicamente son necesarias la fecha de nacimiento de la hembra y la fecha de su primer parto.

Estas características miden el inicio de la actividad reproductiva, aunque incluyen diferentes procesos biológicos. Si bien edad a la pubertad no involucra la preñez, la edad al primer parto involucra la edad a la pubertad de la hembra en conjunto con el éxito en la preñez en el primer servicio. Ambas características tienen la ventaja de que son medidas temprano en la vida del animal, siendo la principal desventaja que solo describen a una categoría del rodeo (vaquillonas).

1.3.2 Éxito de preñez y destete

La preñez en vaquillonas, así como la preñez en vacas, es una característica binaria y puede ser definida con ciertas diferencias según el método de diagnóstico de preñez. Por ejemplo, como Eler et al. (2002), que la definen como la probabilidad de una hembra que fue expuesta de estar preñada al final del período de servicio de ese año, o como Evans et al. (1999), que la definen como la probabilidad de permanecer preñada a palpación; aproximadamente, 120 días luego del período de servicio. La ventaja de esta característica es que es sencilla de medir y, así como la característica éxito al destete, puede medirse tanto en vaquillonas como en vacas. Por ejemplo,

autores como Martínez-Velázquez et al. (2003) y Boldt et al. (2018) trabajaron con la preñez en vaquillonas y autores como Doyle et al. (2000) y Morris et al. (2000), con la preñez en el segundo servicio. Morris y Cullen (1994), considerando varios años, calcularon el porcentaje de preñez a lo largo de la vida como el número de preñeces dividido por el número de años que fueron puestas en servicio, hasta el quinto año de servicio. Minick Bormann et al. (2006) trabajaron con la característica concepción al primer servicio, midiendo la edad fetal culminado el período de servicio, diferenciando si las vaquillonas concibieron en la primera oportunidad de servicio o en las inseminaciones o entores siguientes. Sin embargo, como indica Rovira (2008), hay que tener en cuenta con esta característica que pueden surgir pérdidas de terneros, incluso en los períodos prenatales.

El porcentaje de destete es definido como el porcentaje de terneros destetados por vaca expuesta en el rodeo de servicio y fue estudiado por Dziuk y Bellows (1983). La ventaja de esta característica es que engloba muchas de las características reproductivas anteriores: concepción y preñez, y sobrevivencia fetal, perinatal y del ternero hasta el destete. La limitante es que este porcentaje no evidencia el largo del intervalo entre los destetes.

1.3.3 Éxito y días al parto

Varios autores, como Donoghue et al. (2004), Johnston y Bunter (1996) y Urioste et al. (2007), utilizaron la característica binaria éxito al parto, en la que se le asigna a aquellas vacas presentes en el servicio un valor de 1 si la vaca presenta un parto en ese período (vacas paridas) y un valor de 0 si no presenta parto (vacas falladas). Esta característica, por su definición, incluye, por lo tanto, a las vacas paridas como no paridas. Otra ventaja es que puede ser medida en varias categorías; por ejemplo, Martínez-Velázquez et al. (2003) midieron el éxito en el primer parto (vaquillonas), Mercadante et al. (2003), en el segundo parto y Meyer et al. (1990), en vacas. Sin embargo, esta característica no tiene en cuenta el momento en el que la vaca presenta el parto, si es que tiene éxito.

Días al parto, otra característica reproductiva muy estudiada por varios autores, fue definida en los trabajos de Johnston y Bunter (1996) y Meyer et al. (1990) como el intervalo en días entre la fecha de inicio del servicio y el posterior parto de una vaca. Bourdon y Brinks (1983), Ponzoni (1992b), Urioste et al. (2007) y Rege y Famula (1993) definieron la variable días de parto (o fecha de parto) como el número de días desde el comienzo de la estación de parto en un año y rodeo específico hasta la fecha de parto de la vaca. Si bien existen algunas diferencias en las definiciones entre los autores, que pueden generar algunas disparidades en su expresión, podemos indicar que, a grandes rasgos, trabajaron con la misma característica. La relevancia de esta característica es que intenta identificar animales que conciban más temprano, para al comienzo de la estación y tengan mayor tiempo de recuperación para el siguiente servicio (Cammack et al., 2009). Con una época de entore fija, el momento del parto indica la habilidad de concebir temprano en el período de servicio o el número de servicios requerido (Meyer et al., 1990). Esta característica también puede ser medida y estudiada tanto para vacas como para vaquillonas.

1.3.4 Intervalos interpartos o parto-concepción

Las medidas de intervalos buscan medir la capacidad de recuperación de las hembras luego del parto y pueden ser medidas, por lo tanto, en cualquier categoría del rodeo. El intervalo interpartos es definido como el número de días entre dos partos sucesivos, y autores como Koots et al. (1994a) y Gutiérrez et al. (2002) trabajaron con esta característica. Si bien es una característica de fácil medición, según Donoghue (2006), tiene un valor limitado como criterio de selección, dado que, generalmente, se usa una época de partos fija en los rodeos de ganado de carne. Bourdon y Brinks (1983) sostienen, además, que un intervalo interpartos más corto puede estar asociado a vacas cuyas primeras pariciones fueron tardías y la selección de estos animales podría resultar en una selección indirecta de una edad a la pubertad más tardía.

Morris et al. (2000) trabajaron con la característica intervalo parto concepción, definida como la cantidad de días entre el parto y la siguiente concepción. Estos autores también trabajaron el intervalo en días entre el parto y el primer estro, medido en nivel de progesterona en sangre. Otros trabajos, como Royal et al. (2002), midieron el intervalo entre el parto y el comienzo de la actividad luteal a través de la concentración de progesterona en leche. La dificultad de estas mediciones radica en la necesidad de análisis de laboratorio, así como también en la obtención de las muestras.

1.3.5 Longevidad y permanencia

Estas características son medidas del largo de la vida reproductiva y, si bien evalúan gran parte del desempeño reproductivo en la vida de la hembra, tienen la desventaja de la expresión tardía y de ser medidas únicamente en vacas adultas. Sin embargo, en lugar de evaluar el desempeño del animal en uno o pocos años, permiten una evaluación más global de su rendimiento.

La longevidad en hembras mide la longitud del tiempo en que una hembra permanece en el rodeo de cría (Cammack et al., 2009). Forabosco (2005) definió longevidad como en su trabajo como la cantidad de días entre el primer parto y la fecha de refugio, mientras que Díaz et al. (2002) trabajaron definiendo longevidad como el tiempo entre el primer y el último parto de una vaca. A nivel nacional, Larracharte (2018) trabajó una variable definida como días entre el primer y el último parto, a la cual llamó días de vida productiva. La tardía expresión en la vida de esta característica principalmente, así como el largo intervalo generacional que asume, obstaculiza su inclusión los programas de evaluación genética.

Permanencia en el rodeo es definida como la probabilidad de una vaca de sobrevivir a una cierta edad habiendo tenido la oportunidad, sin haber sido vendida o descartada (Hudson y Van Vleck, 1981, Van Der Westhuizen et al., 2001). En ambos trabajos, midieron la probabilidad de las hembras de seguir en el rodeo a los 36, 48, 60, 72 o 84 meses, codificando como 1 si la vaca

permanecía en el rodeo a esa edad o, de lo contrario, 0. Doyle et al. (2000) y Boldt et al. (2018) también trabajaron con esta característica definida de la misma manera. Larracharte (2018), en un estudio nacional, trabajó con una variable binaria a la cual llamó habilidad de permanencia a los 5 años, definida como la probabilidad de una vaca de sobrevivir o permanecer en el rodeo hasta los 5 años de edad, habiendo tenido la oportunidad. Esta característica tiene la ventaja, frente a la característica de longevidad, de no contar con la necesidad de esperar al refugo o al último registro.

1.4 RELEVANCIA ECONÓMICA DE LAS CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

La importancia económica de las características reproductivas en los sistemas de producción ganaderos ha sido estudiada y remarcada por varios trabajos, tanto a nivel internacional como en el Uruguay.

Phocas et al. (1998), en un estudio en Francia, identificaron el éxito al parto y las características maternas que influyen en el peso al destete como las características económicamente más importantes que requieren mejoramiento genético. Estudios de Ponzoni y Newman (1989), en Australia, también indican que las características de mayor importancia económica son las reproductivas. Meyer et al. (1990), también en Australia, reafirma que el éxito reproductivo es de suprema importancia para la eficiencia económica en producción de ganado de carne. Berry et al. (2014) señalan que un rendimiento reproductivo excelente tanto en hembras como en machos es primordial para sistemas de producción rentables de ganado de carne y de leche, particularmente en sistemas de producción de estrictos períodos de parto donde se espera que los animales se preñen y mantengan la preñez en un corto período posparto. Melton (1995) señala que, a nivel mundial, la reproducción tiene cuatro veces más relevancia que el producto final, dado que los sistemas criadores tienen como principal ingreso la comercialización de terneros al destete.

Ponzoni (1992b) obtuvo resultados que indican que la reproducción hizo la mayor contribución a la ganancia genética medida en unidades económicas, ya sea incluyendo la característica éxito al parto o día de parto. Por lo tanto, el autor concluye que resulta esencial que el esquema de recolección del desempeño que atiende a las razas de ganado bovino de carne provea estimaciones de valores de cría para una medida reproductiva. A nivel nacional, resultados de (Pravia et al., 2014) demostraron que las características reproductivas fueron económicamente tres veces más importantes que las de crecimiento y consumo. La característica con mayor incidencia económica en los dos sistemas de producción analizados fue el porcentaje de parición. Este resultado reafirma los hallazgos nacionales anteriores de Urioste et al. (1998), quienes trabajaron con porcentaje de destete, que ratificaron la importancia económica de la reproducción como la principal característica del objetivo de selección para empresas de ciclo completo en Uruguay.

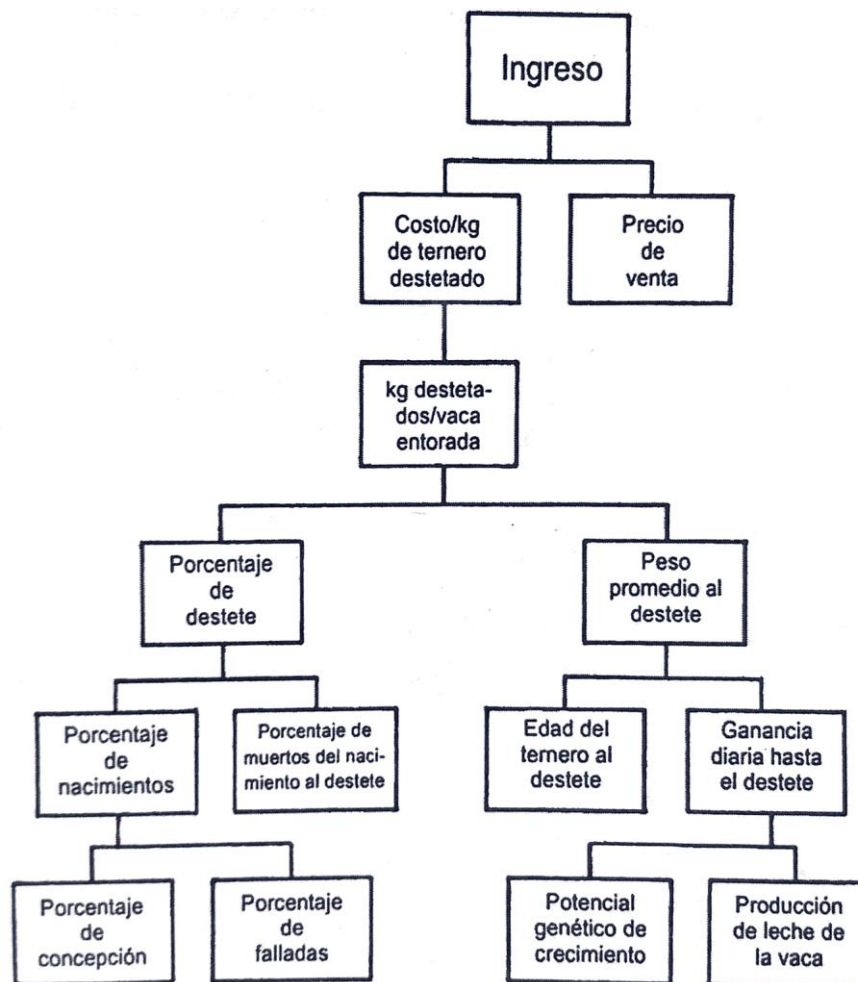
Para una empresa ganadera criadora o de ciclo completo nacional, los ingresos están dados, principalmente, por las hembras de refugio y por la progenie (terneros y/o novillos). Los costos se pueden desagregar en alimenticios y no alimenticios tanto para las hembras de cría como para la progenie. Sin embargo, la producción de carne está sujeta a interrelaciones complejas entre los componentes que afectan los ingresos y costos, y existen antagonismos biológicos y genéticos entre estos. Reproductores y/o tipos biológicos que producen animales más grandes, que crecen más rápido alcanzan mayores pesos a una determinada edad, determinan aumentos en los ingresos. Pero, en contrapartida, conllevan un incremento de los costos, a raíz, por ejemplo, del aumento de los requerimientos alimenticios (Gimeno et al., 2002). Rovira (2008) plantea un pensamiento similar de interacción entre ingresos y costos cuando explica que, si bien la cantidad de kilogramos de carne producidos por hectárea es un buen indicador, hay que tener en cuenta no solo la eficiencia individual de los vientres, sino también el costo alimenticio. Es decir, con vacas excesivamente alimentadas, es fácil obtener

un valor alto de este índice, pero dejando de lado la oportunidad de producir más por superficie.

Soares de Lima et al. (2017) explican que los sistemas de producción bovina de cría uruguayos tienen la particularidad de generar dos productos principales de venta: terneros/as y vacas de descarte. De esta forma, la vaca de cría genera los dos productos de venta. Si la vaca se preña, genera un ternero y deja de generar una vaca para venta. Si la vaca falla y no queda preñada, puede permanecer en el rodeo para el próximo servicio o destinarse a la venta como vaca flaca o gorda, que generará un determinado volumen de kilos de carne para la venta en el corto plazo.

Según Rovira (2008), en cuanto a las explotaciones típicamente criadoras, consideradas como aquellas que venden su producción de terneros para invernar, su éxito depende, en primera instancia, de la cantidad de terneros destetados en relación con los vientres entorados. En la figura 3 se detallan esquemáticamente los factores que afectan el ingreso de los rodeos de cría con venta de los terneros al destete.

Figura 3. Factores que afectan el ingreso de los rodeos de cría con venta de terneros al destete.



Fuente: University of California, citado y adaptado por Rovira (2008).

Mejorar genéticamente los rasgos reproductivos para promover un sistema productivo distinto al utilizado por la mayoría de los productores implicaría un estudio de los costos y beneficios del caso para evaluar conveniencia. Sin embargo, mejorar los rasgos reproductivos en un sistema productivo determinado (el sistema productivo característico del país) a través de la selección de aquellos animales que genéticamente se desempeñen mejor en las características buscadas implicaría, principalmente, una mayor eficiencia económica.

Qué tan heredable y qué tanta variabilidad tiene una característica en la población, así como qué tanto podrían verse afectadas otras características si selecciono por esta, son puntos claves que hay que tener en cuenta al momento de evaluar mejorar genéticamente una característica.

1.5 MEJORAMIENTO GENÉTICO

Las diferencias observadas entre poblaciones de una misma especie con respecto a un carácter en particular pueden atribuirse, por un lado, a diferencias genéticas y, por el otro, a diferencias del medio ambiente en que se encuentran. Este concepto fundamental es resumido en el modelo genético básico: fenotipo = genotipo + ambiente. El mejoramiento de la producción animal puede, entonces, encararse a través del mejoramiento del medio ambiente (nutrición, sanidad, manejo, etc.), lo que, en determinadas circunstancias, puede producir resultados inmediatos y de gran impacto. La otra vía, que de ninguna manera invalida o contradice la anterior, es la del mejoramiento genético. El aumento de la producción obtenido de esta manera es, generalmente, menos espectacular y más lento que el logrado por la mejora ambiental, pero de carácter más permanente y acumulativo de año a año, pudiendo realizarse, además, sin mayores costos e inversiones (Cardellino y Rovira, 1987).

El ambiente comprende la variación de origen no genético, puede tener una gran variedad de causas y su naturaleza depende del carácter y organismo bajo estudio. En general, la varianza ambiental es una fuente de error que reduce la precisión en los estudios genéticos y el propósito del mejorador es reducirla tanto como sea posible, a través del manejo, de un diseño experimental apropiado y de conocer y modelar adecuadamente estos efectos. Las causas externas más comunes de variación ambiental son factores nutricionales, climáticos y maternos y errores de medición (Falconer, 1981).

Los programas de mejoramiento genético de una raza tienen como objetivo identificar y promocionar los animales que mejor se adapten a las condiciones de producción existentes y que, al mismo tiempo, mejoren el beneficio económico de las explotaciones. Para esto es necesario valerse de información objetiva y precisa sobre los reproductores, que permita tomar decisiones de selección y hacer un uso diferencial de estos (Aguilar et al., 2005). Según Cardellino y Rovira (1987), el propósito del mejoramiento genético es obtener poblaciones con un genotipo promedio superior. Esto se logra o bien aumentando las frecuencias de los genes favorables o deseables, o bien redistribuyendo los genes en combinaciones genotípicas más productivas (o combinar ambas estrategias y realizarlas simultáneamente). Lo primero se logra por la selección y lo segundo, por el control del sistema de apareamiento (cruzamientos).

Groen (1999) también especifica que la mejora genética en ganado de carne tiene como objetivo optimizar genéticamente poblaciones de animales de forma que produzcan más eficientemente en situaciones futuras esperadas y con los recursos disponibles. Para ello se basa en el uso de la variación genética existente entre los individuos y en la selección de los mejores animales a partir de su valor de cría, para su utilización como padres de las siguientes generaciones.

El valor de cría es definido como el valor de un individuo como contribuidor de genes para la próxima generación; representa únicamente el valor genotípico que puede ser transmitido a la progenie. Dado que el valor de cría es la suma de los efectos independientes de todos los genes de un individuo afectando a una característica, cada padre le transmite, en promedio, la mitad de su valor de cría a su progenie. Este valor no es medible directamente, por lo que es predicho a través de información fenotípica y se denomina diferencia esperada en la progenie (DEP —diferencias esperadas en la progenie— o, en inglés, EPD —*expected progeny differences*—; Bourdon, 2000). Las DEP representan la diferencia esperada en la progenie

de un animal evaluado con respecto al promedio poblacional. Estos valores genéticos nos proveen de una predicción del potencial genético futuro de la progenie de un individuo para una característica específica. Para el cálculo de los valores genéticos se combinan la información genealógica, la información productiva y las circunstancias productivas (rodeo, grupo contemporáneo, edad, manejo alimenticio, edad de la madre, etc.; Aguilar et al., 2005).

La correlación entre el verdadero valor de cría y el valor predicho corresponde a la precisión de la predicción. En el caso de bovinos para carne, lo más común es utilizar el valor de dicha correlación al cuadrado (Mrode, 2005). La precisión depende de varios factores, entre ellos, la heredabilidad de la característica, la cantidad de información (propia y de parientes) y la metodología de predicción genética utilizada (Bourdon, 2000). La precisión es un indicador de la confiabilidad de la estimación del DEP. Sus valores oscilan entre 0 y 1, siendo los valores más cercanos a 1 los más confiables al estar sujetos a menos cambios a medida que se agrega más información. Este valor debe ser usado en forma conjunta con el valor de DEP para tomar decisiones sobre la intensidad de uso de un padre determinado (Ravagnolo et al., 2011).

Bullock (2014) señala que la selección para mejorar la reproducción ha sido frecuentemente ignorada dada la baja heredabilidad de la mayoría de las características reproductivas. El autor remarca que, si bien es cierto que el mayor impacto que un productor puede tener en estas características es a través de prácticas de manejo, como una nutrición adecuada, un buen programa sanitario o sistemas de cruzamiento, aun así hay oportunidades de mejorar la eficiencia reproductiva a través de selección y, dado el impacto económico de la reproducción, estas oportunidades no deberían ser ignoradas. La selección, mediante el uso de DEP, proporcionará mejoras limitadas pero valiosas a varios rasgos de reproducción que se pueden utilizar en todos los sistemas de ganado vacuno de carne. Las DEP, además, son una excelente herramienta para ayudar a combinar el potencial genético del rodeo con el nivel de nutrición proporcionado como ambiente en cada

establecimiento o rodeo particular. La combinación de un buen manejo con prácticas genéticas sólidas brinda a los productores la mejor oportunidad para lograr un alto rendimiento reproductivo (Bullock, 2014).

Harris et al. (1984) y Ponzoni (1992a) definieron los pasos a seguir para el desarrollo de un programa de mejora genética, los cuales fueron adaptados y resumidos por Ciappesoni y Goldberg (2012) en los siguientes: (1) definición del sistema de producción, (2) definición de los objetivos de selección, (3) elección de los criterios de selección, (4) organización de la toma de registros productivos y genealógicos, (5) evaluación genética, (6) uso de la información para tomar decisiones de selección y (7) uso de los animales seleccionados. Groen (1999) también resume pasos similares y señala que primero es necesaria la definición del objetivo de selección de acuerdo al sistema de producción, en segundo lugar, implementar un sistema de registro que permita identificar los méritos genéticos de los animales y, en tercer lugar, utilizar los animales seleccionados.

Tal como se describe en el procedimiento planteado por Ciappesoni y Goldberg (2012), el objetivo y el criterio de selección son conceptos claves a la hora de plantearse un programa de mejoramiento genético. El objetivo de selección es definido como el conjunto de caracteres que deben ser mejorados genéticamente debido a su importancia económica. En contraste, el criterio de selección abarca las características usadas en la estimación de los valores de cría (o DEP) de los animales. Aquellas características consideradas como objetivo y criterio de selección pueden ser o no las mismas (Cardellino y Rovira, 1987, Ponzoni y Newman, 1989). Las decisiones en cuanto a qué característica debería estar incluida en los objetivos de selección deberían estar basadas exclusivamente en motivos económicos y no en su facilidad de medición o de cambiar genéticamente. Las características en los objetivos de selección son el fin, mientras que las características usadas como criterio de selección son el medio para alcanzar ese fin. La posibilidad de una característica de ser criterio de selección está definida por la correlación

genética con las características del objetivo, la variación genética y la facilidad de medición (Ponzoni y Newman, 1989). Por lo tanto, al momento de evaluar a las características reproductivas como posibles candidatas para ser incluidas en las evaluaciones genéticas, se debe tener en cuenta tanto su facilidad de registro para los productores como sus parámetros genéticos.

1.5.1 Parámetros genéticos

Es esencial disponer de estimaciones de heredabilidades y correlaciones genéticas de las poblaciones a mejorar para poder diseñar e implementar programas de mejoramiento animal efectivos. Estos parámetros genéticos son característicos de la población en la que son estimados y pueden cambiar con el tiempo debido a la selección y decisiones de manejo (Koots et al., 1994a).

1.5.1.1 Heredabilidad

La heredabilidad es una medida de la fuerza (consistencia) de la relación entre los valores fenotípicos y los valores de cría para una característica en una población. Es una medida poblacional, no un valor asociado a un animal individual. La heredabilidad de una característica no es fija, varía entre poblaciones y entre ambientes (Bourdon, 2000).

La heredabilidad no solo determina el grado de parecido entre parientes, sino que también expresa la confiabilidad del valor fenotípico como indicador del valor reproductivo, por lo que es de gran importancia en los programas de mejoramiento. La heredabilidad corresponde al cociente de varianza aditiva sobre varianza fenotípica y expresa el grado en el cual los fenotipos son determinados por los genes transmitidos por los progenitores (Falconer, 1981).

Los valores de heredabilidad van desde 0 a 1 y pueden expresarse, también, como porcentajes. Según Bourdon (2000), como regla general, características con heredabilidades por debajo de 0,2 son consideradas poco

heredables, heredabilidades entre 0,2 y 0,4 son consideradas medianamente heredables y por encima de 0,4 son consideradas altamente heredables.

Los valores de heredabilidad hallados en la bibliografía para las características reproductivas son bajos. Cammack et al. (2009), en su revisión bibliográfica, resumieron los rangos de heredabilidades encontradas para las distintas características reproductivas en varios trabajos, los cuales se muestran en la tabla 1. Una baja heredabilidad de las características reproductivas ocurre porque gran parte de la varianza fenotípica del comportamiento reproductivo se debe a los efectos genéticos no aditivos y al ambiente.

Tabla 1. Resumen de rangos de heredabilidades encontradas en la bibliografía realizado por Cammack et al. (2009).

Característica	Heredabilidades encontradas	Características	Heredabilidades encontradas
Edad a pubertad	< 0,1 a 0,6	Probabilidad de preñez	< 0,1 a 0,6
Edad al primer parto	< 0,1 a 0,3	Concepción al 1 servicio	< 0,10 a 0,3
% parición	< 0,1 a ≤ 0,2	Parto a 1 inseminación	< 0,1
Éxito al parto	< 0,05 a ≤ 0,1	% terneros destetados	< 0,1 a ≤ 0,2
Fecha de parto	< 0,1 a 0,5	Número de terneros	< 0,1 a ≤ 0,4
Días al parto	<0,1	Circunferencia escrotal	0,2 a 0,8
% preñez vaquillonas	< 0,2 a ≤ 0,3	Permanencia en rodeo	< 0,1 a ≤ 0,2
% preñez	< 0,1 a ≤ 0,3		

Según explica Bourdon (2000), en las características con baja heredabilidad hay poca consistencia en la relación entre el fenotipo y los valores de cría y, por lo tanto, un buen desempeño fenotípico en el animal no es un buen indicador de su valor de cría; en consecuencia, tampoco del desempeño de su progenie.

A nivel nacional, Urioste et al. (2007) y Larracharte (2018) realizaron estimaciones de heredabilidad para algunas características reproductivas en ganado Aberdeen Angus, a partir de un sistema tradicional de registro (ver sección 1.5.3). En la tabla 2 se resumen las estimaciones nacionales de heredabilidad para características reproductivas encontradas en la literatura.

Tabla 2. Resumen de estimaciones nacionales de heredabilidad para características reproductivas.

Característica	Heredabilidad encontrada	Modelo utilizado	Método utilizado en hembras sin registro	Referencia
Días al primer parto	0,07 (0,04; 0,11) hdp95	Animal umbral-lineal de 5 variables	Sin incluir	Larracharte (2018)
	0,23 (0,03 PSD)	Animal umbral-lineal de 6 variables	Consideradas observaciones faltantes	Urioste et al. (2007)
	0,30 (0,05 PSD)	Animal lineal de 3 variables	Penalización de 21 días	

	0,31 (0,03 PSD)	Animal lineal de 3 variables	Se obtuvo valor de distribución normal truncada
Días al segundo parto	0,21 (0,03 PSD)	Animal umbral- lineal de 6 variables	Consideradas observaciones faltantes
	0,24 (0,06 PSD)	Animal lineal de 3 variables	Penalización de 21 días
	0,20 (0,04 PSD)	Animal lineal de 3 variables	Se obtuvo valor de distribución normal truncada
Días al tercer parto	0,19 (0,03 PSD)	Animal umbral- lineal de 6 variables	Consideradas observaciones faltantes
	0,27 (0,06 PSD)	Animal lineal de 3 variables	Penalización de 21 días
	0,29 (0,07 PSD)	Animal lineal de 3 variables	Se obtuvo valor de distribución normal truncada

Éxito al primer parto	0,42 (0,06 PSD)	Animal umbral-lineal de 6 variables		Larracharte (2018)
Éxito al segundo parto	0,40 (0,05 PSD)			
Éxito al tercer parto	0,37 (0,07 PSD)			
Éxito de tener 3 partos consecutivos	0,23 (0,15; 0,30) hdp95	Animal umbral-lineal de 5 variables		
Éxito preñez al segundo parto	0,24 (0,16-0,31) hdp95			
Permanencia	0,11 (0,05; 0,18) hdp95			
Longevidad	0,07 (0,03; 0,12) hdp95			

A nivel internacional, también se han encontrado estimaciones de heredabilidad bajas para distintas características reproductivas. En la tabla 3 se detallan algunas estimaciones de heredabilidades encontradas en distintos trabajos internacionales, especificando la raza/s utilizadas en el estudio, así como observaciones en cuanto a las definiciones de las características o modelos utilizados que pueden resultar pertinentes.

Tabla 3. Resumen de estimaciones internacionales de heredabilidad para características reproductivas.

Característica	Heredabilidad encontrada	Modelo utilizado/método utilizado en hembras sin registro	Raza	Referencia
Edad a la pubertad	0,10 ± 0,17		Multirracial	Smith et al. (1989)
	0,16 ± 0,04	Animal trivariado	Multirracial	Martínez - Velázquez et al. (2003)
	0,20 ± 0,16		Hereford	Arije y Wiltbank (1971)
	0,27 ± 0,04	Bivariado	Aberdeen Angus	Morris et al. (2000)
Tasa de concepción	0,17 ± 0,02		Multirracial	Koots et al. (1994a)
Preñez en vaquillonas	0,14 ± 0,09	Univariado	Hereford	Evans et al. (1999)
	0,24 ± 0,12	Bivariado		
	0,27 ± 0,02	Animal umbral univariado	Aberdeen Angus	Doyle et al. (2000)

Preñez en segundo servicio	0,12 ± 0,05	Bivariado	Aberdeen Angus	Morris et al. (2000)
	0,04 ± 0,04	Univariado	Multirracial	Morris y Cullen (1994)
	0,14 ± 0,03	Animal trivariado	Multirracial	Martínez - Velázquez et al. (2003)
	0,12 ± 0,01	Bivariado	Angus Colorado	Boldt et al. (2018)
	0,12 ± 0,01	Animal umbral univariado	Aberdeen Angus	Doyle et al. (2000)
	0,08 ± 0,06	Bivariado	Aberdeen Angus	Morris et al. (2000)
Tasa de preñez	0,04 ± 0,05	Univariado		
	0,04 ± 0,07	Univariado	Multirracial	Morris y Cullen (1994)
Largo de gestación	0,37 ± 0,11		Aberdeen Angus and Hereford	Bourdon y Brinks (1983)
Parto a la primera inseminación	0,03 ± 0,01	Bivariado umbral-lineal	Aberdeen Angus	Donoghue et al. (2004)

Edad al primer parto	0,24 ± 0,02	Bivariado	Asturiana de los valles	Gutiérrez et al. (2002)
	0,01 ± 0,12		Multirracial	Smith et al. (1989)
	0,06 ± 0,02		Multirracial	Koots et al. (1994a)
	0,07 ± 0,09		Aberdeen Angus and Hereford	Bourdon y Brinks (1982)
	0,08 ± 0,04	Animal trivariado	Multirracial	Martínez - Velázquez et al. (2003)
Éxito al primer parto	0,04 ± 0,06	Univariado	Nelore	Mercadante et al. (2003)
	0,14 ± 0,03	Animal trivariado	Multirracial	Martínez - Velázquez et al. (2003)
Éxito al segundo parto	0,10 ± 0,07	Univariado	Nelore	Mercadante et al. (2003)
Éxito al parto	0,02		Angus	

	0,08	Sin ajustes por categórico	Hereford	Meyer et al. (1990)
	0,03 ± 0,01	Bivariado umbral-lineal	Aberdeen Angus	Donoghue et al. (2004)
	0,11 ± 0,03	Univariado	Nelore	Mercadante et al. (2003)
	0,11	Bivariado, sin ajustes por categórico	Angus	Johnston y Bunter (1996)
Tasa de parición	0,17 ± 0,01		Multirracial	Koots et al. (1994a)
Días al primer parto	0,10 ± 0,04	Univariado/Penalización de 21 días	Aberdeen Angus	Johnston y Bunter (1996)
	0,08 ± 0,06	Bivariado/Penalización de 21 días	Nelore	Mercadante et al. (2003)
	0,21 ± 0,015	Bivariado/Sin incluir	Asturiana de los valles	Gutiérrez et al. (2002)
	0,09 ± 0,13		Multirracial	Smith et al. (1989)

Días al segundo parto	0,11 ± 0,07	Univariado/Penalización de 21 días	Aberdeen Angus	Johnston y Bunter (1996)
	0,36 ± 0,18		Multirracial	Smith et al. (1989)
Días al parto	0,08	Animal de repetibilidad / Valor predicho de una distribución normal	Aberdeen Angus	Meyer et al. (1990)
	0,05	Animal de repetibilidad	Hereford	
	0,11	Bivariado Penalización de 21 días	Aberdeen Angus	Johnston y Bunter (1996)
	0,09 ± 0,04	Bivariado/Sin incluir	Aberdeen Angus	Morris et al. (2000)
	0,10 ± 0,03	Univariado/Penalización de 21 días	Nelore	Mercadante et al. (2003)
	0,06 ± 0,01	Bivariado umbral-lineal	Aberdeen Angus	Donoghue et al. (2004)

	0,04 ± 0,09	Univariado	Multirracial	Morris y Cullen (1994)
	0,08 ± 0,01		Multirracial	Koots et al. (1994a)
	0,16 ± 0,05	Animal/Dato perdido	Polled Hereford	Rege y Famula (1993)
Intervalo parto-concepción	0,11 ± 0,04	Univariado	Aberdeen Angus	Morris et al. (2000)
Intervalo interpartos	0,01 ± 0,02		Multirracial	Koots et al. (1994a)
	0,13 ± 0,02	Bivariado	Asturiana de los valles	Gutiérrez et al. (2002)
Permanencia	0,14 ± 0,01	Animal umbral univariado	Aberdeen Angus	Doyle et al. (2000)
	0,10 ± 0,01	Bivariado	Angus Colorado	Boldt et al. (2018)

1.5.1.2 Correlaciones genéticas

La correlación es una medida de la fuerza (o consistencia) de la relación entre dos variables. Las correlaciones se utilizan para describir la relación entre dos características en una población. Es decir, al igual que la heredabilidad, es un parámetro poblacional, pero, en este caso, refiere a dos características. Los valores numéricos para una correlación están en el rango de -1 a +1. Una correlación cerca de -1 indica una correlación muy fuerte y negativa, una correlación cerca de +1 indica una correlación muy fuerte y positiva y una correlación igual a cero indica que no hay relación entre las variables (Bourdon, 2000).

Las causas de la correlación genética entre dos características son la pleiotropía y el ligamiento. Este último es causa de correlación genética temporal, mientras que la pleiotropía tiene un efecto permanente sobre la correlación. La pleiotropía es la propiedad de un gen de afectar a dos o más caracteres, de manera que si el gen está segregando, causa variación simultánea en los caracteres que afecta. La correlación es ambiental si dos caracteres están influidos por las mismas diferencias de condiciones ambientales.

Una vez que una característica ha sido considerada adecuada para la incorporación a las evaluaciones genéticas nacionales, la naturaleza de la relación entre esa característica y las otras es de primordial interés (Donoghue, 2006). La importancia de los caracteres correlacionados ya sea positiva o negativamente, en un programa de mejoramiento, radica en conocer cómo el mejoramiento de un carácter causará cambios simultáneos en otros caracteres. Según Berry et al. (2014), conocer las correlaciones genéticas entre características puede ser útil para cuantificar la respuesta a la selección de otras características por la selección de características reproductivas, así como para determinar la respuesta esperada en el desempeño reproductivo por la selección por otras características (selección indirecta). Johnston (2014) también señala que antes de considerar incluir a las evaluaciones genéticas

una nueva característica reproductiva, es necesario estimar su relación con los objetivos de selección y con características claves, como el peso de la vaca.

A nivel nacional, Urioste et al. (2007) y Larracharte (2018) realizaron estimaciones de correlaciones genéticas entre algunas características reproductivas en ganado Aberdeen Angus, a partir de un sistema tradicional de registro (ver sección 1.5.3). En la tabla 4 se resumen las estimaciones nacionales de correlaciones genéticas entre características reproductivas encontradas en la literatura.

Tabla 4. Resumen de estimaciones nacionales de correlaciones genéticas entre características reproductivas.

Características		Correlación genética	Modelo utilizado/método utilizado en hembras sin registro	Referencia
Días al primer parto	Permanencia	-0,02 (-0,50; 0,40) HPD95	Animal umbral-lineal de 5 variables/Sin incluir	Larracharte (2018)
	Longevidad	-0,09 (-0,51; 0,31) HPD95		
	Éxito de tener 3 partos consecutivos	-0,08 (-0,12; -0,06) HPD95		
	Éxito de preñez al segundo parto	-0,09 (-0,10; -0,07) HPD95		
	Éxito al primer parto	-0,70 (0,08 PSD)		Urioste et al. (2007)

	Éxito al segundo parto	-0,91 (0,03 PSD)	Animal umbral-lineal de 6 variables	
	Éxito al tercer parto	-0,54 (0,13 PSD)		
Días al segundo parto	Éxito al primer parto	-0,58 (0,12 PSD)		
	Éxito al segundo parto	-0,61 (0,12 PSD)		
	Éxito al tercer parto	-0,66 (0,09 PSD)		
Días al tercer parto	Éxito al primer parto	-0,65 (0,12 PSD)		
	Éxito al segundo parto	-0,77 (0,11 PSD)		
	Éxito al tercer parto	-0,75 (0,09 PSD)		
Éxito de tener 3 partos consecutivos	Permanencia	0,45 (0,40; 0,72) HPD95		
	Longevidad	0,24 (-0,10; 0,51) HPD95		
Éxito de preñez al segundo parto	Permanencia	0,38 (0,20; 0,62) HPD95		
	Longevidad	0,21 (-0,10; 0,50) HPD95		

A nivel internacional, se han encontrado estimaciones de correlaciones genéticas entre distintas características reproductivas, resumidas en la tabla 5.

Tabla 5. Resumen de estimaciones internacionales de correlaciones genéticas entre características reproductivas.

Características		Correlación genética	Raza	Referencia
Edad al primer estro	Preñez en vaquillona	-0,67 ± 0,44	Multirracial	Morris y Cullen (1994)
		-0,89 ± 0,17	Aberdeen	Morris et al. (2000)
	Preñez al segundo año	-0,29 ± 0,30	Angus	
	Tasa de preñez	-0,76 ± 0,68	Multirracial	Morris y Cullen (1994)
-0,21 ± 0,24		Aberdeen Angus	Morris et al. (2000)	
Edad al primer parto	Días al parto	-0,09 ± 0,02	Asturiana de los valles	Gutiérrez et al. (2002)
Días al primer parto	Éxito al primer parto	-0,97	Aberdeen Angus	Johnston y Bunter (1996)
	Días al segundo parto	0,85 ± 0,10		
Días al parto	Éxito al parto	-0,73 ± 0,06	Aberdeen Angus	Donoghue et al. (2004)
	Parto a la primer inseminación	-0,66 ± 0,12		
	Edad al primer estro	0,10 ± 0,59	Multirracial	Morris y Cullen (1994)
	Edad a la pubertad	0,57 ± 0,17	Aberdeen Angus	Morris et al. (2000)
	Edad al primer parto	0,23 ± 0,08	Asturiana de los valles	Gutiérrez et al. (2002)

Intervalo inter parto		0,06	Multirracial	Koots et al. (1994b)
	Días al parto	-0,83		
	Días al primer parto	-0,29 ± 0,05	Asturiana de los valles	Gutiérrez et al. (2002)

Se observa una amplia variabilidad entre las estimaciones encontradas por los distintos autores y entre las distintas características. A nivel nacional, el rango va desde -0,02 entre días al primer parto y permanencia en una estimación nacional hasta -0.97 entre días al primer parto y éxito al primer parto en una estimación internacional. De todas formas, mayoritariamente, se observa una correlación favorable entre características reproductivas.

Varios trabajos han estimado correlaciones genéticas entre características reproductivas y productivas, dada la importancia ya mencionada acerca de conocer la relación de las características que se desean incorporar con características de interés ya incluidas en las evaluaciones, de forma de no repercutir negativamente sobre estas. Los resultados obtenidos en cuanto a correlaciones encontradas a nivel internacional entre características reproductivas y productivas se resumen en la tabla 6, en donde se muestran estimaciones muy variables, en su mayoría correlaciones favorables.

Tabla 6. Resumen de estimaciones internacionales de correlaciones genéticas entre características reproductivas y productivas.

Características		Correlación genética	Raza	Referencia
Edad a la pubertad	Peso al año de edad	-0,22 ± 0,09	Aberdeen Angus	Morris et al. (2000)
Edad al primer parto	Peso al nacimiento	-0,17 ± 0,38	Aberdeen Angus y Hereford	Bourdon y Brinks (1982)

		-0,14	Multirracial	Koots et al (1994b)
	Peso al destete	-0,22 ± 0,41	Aberdeen Angus y Hereford	Bourdon y Brinks (1982)
		0,7	Multirracial	Koots et al (1994b)
	Peso al año de edad	-0,17 ± 0,40	Aberdeen Angus and Hereford	Bourdon y Brinks (1982)
		-0,06	Multirracial	Koots et al. (1994b)
	Ganancia de peso posdestete	0,00 ± 0,43	Aberdeen Angus y Hereford	Bourdon y Brinks (1982)
	Ganancia de peso predestete	-0,21 ± 0,42		
Días al parto	Peso al nacimiento	-0,30 ± 0,10	Polled Hereford	Rege y Famula (1993)
	Peso al año de edad	-0,60 ± 0,11		
		-0,13	Multirracial	Koots et al. (1994b)
	Peso al destete	-0,53		
		-0,05 ± 0,03	Polled Hereford	Rege y Famula (1993)
	Ganancia media diaria predestete	-0,03 ± 0,08		
Ganancia media diaria posdestete	-0,64 ± 0,19			

Días al primer parto	Peso al destete	0,10 ± 0,20	Aberdeen Angus	Johnston y Bunter (1996)
	Peso al año de edad	0,08 ± 0,18		

1.5.2 Evaluaciones genéticas

En producción animal, generalmente describimos una observación a través de un modelo matemático lineal que incluye aquellos factores que se piensa tienen una influencia sobre la variable estudiada, así como sus interacciones. Las evaluaciones genéticas buscan evaluar genéticamente a los animales dentro de una misma raza, a través de modelos matemáticos que capturan los efectos ambientales. Estas evaluaciones permiten comparar de forma objetiva a los animales y, de esta forma, poder tomar decisiones de selección. Evaluaciones genéticas precisas requieren grandes cantidades de información sobre la cual estimar los valores de cría, particularmente para las características de baja heredabilidad como las reproductivas (Berry et al. 2014).

A nivel nacional, se dispone de un sistema de evaluación genética para las principales razas bovinas carniceras del país (Hereford, Aberdeen Angus, Braford y Limousin). Animales bajo dichos programas disponen de estimaciones de valoraciones genéticas expresadas como DEP. Para las razas pioneras Hereford y Aberdeen Angus, las evaluaciones tuvieron sus comienzos a finales de la década del 80 y fueron publicados los primeros catálogos nacionales de reproductores a comienzos de la década del 90 (Lema y Ravagnolo, 2008). Según datos de la Encuesta Ganadera (MGAP-OPYPA, 2018), el 33 % de los productores de este rubro conoce las DEP y un 30,9 % definió la compra de toros a partir en este dato.

Las evaluaciones genéticas nacionales se han centrado, fundamentalmente, en características de crecimiento y calidad de canal y no

se dispone aún de evaluación genética para características reproductivas a pesar de su relevancia económica a nivel de los sistemas productivos. La ausencia de mejores estimadores de la habilidad reproductiva genética de los rodeos, más allá de su pobre representación por la circunferencia escrotal, se debe a dos factores principales: el primero de ellos es la dificultad de recabar la información necesaria para realizar las evaluaciones genéticas de estas características y el segundo es la baja heredabilidad de las características reproductivas y su consecuente progreso genético lento (Lema et al., 2013).

A nivel internacional, si bien ya se han incluido algunas características reproductivas en las evaluaciones, también se observa esta tendencia de incluir primero características de producción. Según Evans et al. (1999), esto es debido a la poca disponibilidad de información y a los procedimientos analíticos más sencillos de las características de producción. Johnston (2014) también comenta que, tradicionalmente, la selección ha jugado un rol pequeño en mejorar la reproducción en ganado de carne debido a los bajos niveles de registros y la lenta respuesta a la selección. Garrick (2005) indica que el complejo de características reproductivas es de difícil definición y problemático para obtener DEP desde el punto de vista estadístico (con observaciones categóricas) y desde el punto de vista práctico (con observaciones disponibles tarde en la vida de los candidatos seleccionados para ser padres), siendo estos los principales motivos por los que los DEP fueron focalizados, inicialmente, en características de fácil medición como los pesos a diferentes edades.

En los programas de mejoramiento genético, es importante evaluar los cambios genéticos que se están obteniendo, tanto la dirección como la velocidad. Conocer el progreso genético permite saber si se están obteniendo los resultados deseados o si es necesario realizar algún cambio. Para esto se utilizan las tendencias genéticas, que consisten en la representación gráfica del valor genético promedio de los animales para determinada característica, según su año de nacimiento. A nivel nacional, se pueden observar las

tendencias genéticas obtenidas para las características evaluadas, no para características reproductivas aún. Las tendencias genéticas para ganado de carne en Uruguay muestran que la selección ha sido para mayor peso vivo posnacimiento (Ravagnolo et al., 2011). Johnston (2014) también remarca que, a nivel internacional, las tendencias genéticas generalmente muestran tendencias positivas para características de peso y carcasa, mientras que las tendencias para características reproductivas no son informativas dada su reciente inclusión y la limitada cantidad de animales evaluados. Es de utilidad también, para cada productor, observar la tendencia genética generada en sus propios rodeos, de forma de poder tomar decisiones con base en sus propios objetivos de selección.

Actualmente, la inclusión de información genómica a nivel nacional está presente en las características en evaluación genética de las razas Aberdeen Angus y Hereford. A nivel internacional, según indica Johnston (2014), se ha incluido la información genómica en evaluaciones de varias especies y países, lo que ha revolucionado los programas de mejoramiento y los progresos genéticos, principalmente en ganado lechero. La mayor ventaja de esta inclusión es el aumento de la precisión para aquellas características que son difíciles o muy costosas de medir antes de la selección de los toritos. Los beneficios de la selección genómica en ganado lechero vienen, principalmente, de la reducción del intervalo generacional dada la necesidad de registros de las hijas, lo cual también aplica al ganado de carne. En la actualidad, las evaluaciones internacionales de ganado de carne incluyen el uso de la genómica (Irlanda, Angus en EE. UU. y Australia). Es posible aumentar la precisión en las características reproductivas mediante la inclusión de esta tecnología, como lo demuestran algunos estudios de Australia. Sin embargo, la poca cantidad de registros fenotípicos para evaluaciones genéticas tradicionales en características reproductivas de hembras es, también, una limitante para la selección genómica (Johnston, 2014). Es por esto que, si bien la inclusión de la genómica generaría beneficios en la evaluación de características reproductivas, dada su baja

heredabilidad y su difícil medición, no quita la necesidad de utilizar gran cantidad de registros fenotípicos. Johnston (2014) también indica que algunas investigaciones han demostrado que para que los valores de cría genómicos sean predictivos, deben estar genéticamente relacionados con los animales de la población genómica de referencia, lo cual también marca la necesidad de aumentar las cantidades de registros genotípicos y fenotípicos, así como de su actualización constante. Es necesaria, entonces, la educación a los productores sobre las estrategias en este sentido.

1.5.2.1 Características reproductivas como herramienta de selección

Johnston (2014) resumió las características reproductivas incluidas en los programas de evaluaciones genéticas de ganado de carne a nivel internacional, indicadas en la tabla 7. Las características reproductivas en hembras actualmente utilizadas en evaluaciones genéticas internacionales incluyen: días al parto, preñez en vaquillonas, éxito al parto, edad al primer parto, intervalo interpartos y permanencia.

Tabla 7. Características reproductivas incluidas en evaluaciones genéticas de ganado de carne según país (adaptado de Johnston, 2014).

Característica	Países
Circunferencia escrotal	Australia, Nueva Zelanda, Sudáfrica, Namibia, Argentina, Reino Unido, Irlanda, Brasil, Francia, Estados Unidos, Canadá, Mexico
Días para el parto	Australia, Nueva Zelanda, Sudáfrica, Namibia
Preñez en vaquillonas	Estados Unidos, Venezuela, Brasil
Éxito al parto en vaquillonas	Francia
Edad al primer parto	Irlanda, Reino Unido, Brasil
Intervalo interpartos	Irlanda, Dinamarca, Reino Unido
Permanencia/Vida productiva	Estados Unidos, Canadá, Venezuela, Reino Unido, Francia, Brasil

Según explica Johnston (2014), la característica más incluida en las evaluaciones genéticas es la característica de circunferencia escrotal en machos, dada su facilidad de registro, y es tomada en cuenta como un indicador para características reproductivas femeninas debido a la falta de registro de estas y a los resultados obtenidos en algunos estudios. Ravagnolo et al. (2011) también señala que, tradicionalmente, la característica de circunferencia escrotal ha sido un indicador no solo de la producción de cantidad y calidad de semen en el toro, sino también de la edad a la pubertad de la progenie, asociándose un mayor valor de cría de circunferencia escrotal con una menor edad a la pubertad de la progenie. Esto se explica a partir de estudios que han demostrado una correlación genética negativa entre la circunferencia escrotal y la edad a la pubertad, como Brinks et al. en el año 1978 (Boldt et al., 2018). Sin embargo, más recientemente, la relación entre circunferencia escrotal y la preñez en vaquillonas ha sido puesta en cuestión, ya que múltiples estudios han estimado correlaciones genéticas bajas con altos desvíos estándar y no diferentes de cero entre estas características (Boldt et al., 2018, Evans et al., 1999, Mcallister et al., 2011). Martínez-Velázquez et al. (2003) obtuvieron resultados que sugieren que no es esperable una respuesta genética en características reproductivas en hembras, seleccionando por la circunferencia escrotal al año de edad en toros. Según Boldt et al. (2018), esto puede ser resultado de la selección y cambios en el desempeño en el período intermedio. Evans et al. (1999) indican que una selección para un valor de cría de alto circunferencia escrotal puede que no sea una ventaja para mejorar la preñez en vaquillonas por sobre una selección para un valor de cría moderado de circunferencia escrotal. Es necesaria más investigación para confirmar o refutar la presencia de una relación entre la edad a la pubertad y la circunferencia escrotal en toros. McAllister et al. (2011) indican que las correlaciones genéticas y las heredabilidades actuales estimadas de preñez en vaquillonas y circunferencia escrotal sugieren que el desarrollo y la implementación de una evaluación genética para preñez en vaquillonas sería más eficiente para el incremento de

las hembras con partos a los 2 años, comparados con una selección cuyo criterio se base en mediciones de circunferencia escrotal al año de edad. En la tabla 8 se resumen algunas correlaciones genéticas encontradas entre circunferencia escrotal y características reproductivas de las hembras, en donde se puede observar la gran variabilidad en estas.

Tabla 8. Correlaciones genéticas encontradas entre circunferencia escrotal y características reproductivas en hembras.

Características		Correlación genética	Raza	Referencia
Circunferencia escrotal	Edad a la pubertad	-0,25 ± 0,09	Aberdeen Angus	Morris et al. (2000)
		-0,15	Multirracial	Martínez-Velázquez et al. (2003)
	Preñez en vaquillona	0,53 ± 0,66	Multirracial	Morris y Cullen (1994)
		0,002 ± 0,45	Hereford	Evans et al. (1999)
		0,05 ± 0,09	Angus Colorado	McAllister et al. (2011)
		-0,06 ± 0,09	Angus Colorado	Boldt et al. (2018)
	Tasa de preñez	0,34 ± 0,40	Multirracial	Morris y Cullen (1994)
	Edad al primer parto	0,15	Multirracial	Martínez-Velázquez et al. (2003)
	Días al parto	-0,06 ± 0,47	Multirracial	Morris y Cullen (1994)

		-0,23 ± 0,15	Aberdeen Angus	Morris et al. (2000)
--	--	--------------	-------------------	-------------------------

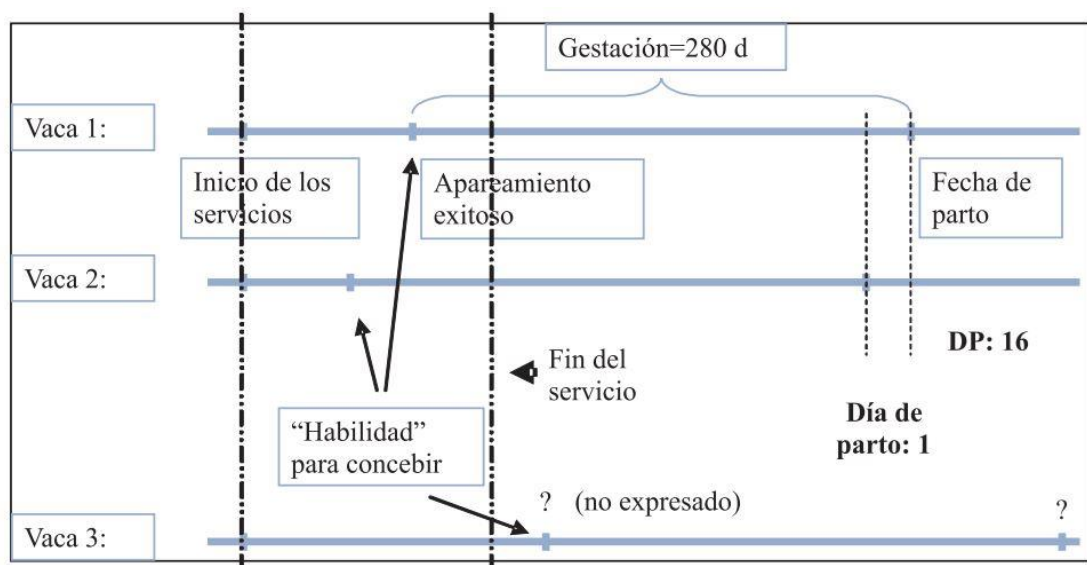
Meyer et al. (1990) compararon el porcentaje de parición, el número de terneros, el éxito al parto y los días al parto como medidas del desempeño reproductivo en ganado de carne en Australia. Los autores concluyeron que días al parto parece ser la característica más apropiada para incorporar a la evaluación genética, es de fácil medición en condiciones de pastoreo y permite incluir información de todos los animales en el análisis. Notaron, además, que la desviación esperada de la distribución en comparación con la distribución normal para esta característica podría ser considerablemente menor que para otras características consideradas, lo que permitiría la aplicación de métodos estándar de evaluación genética para el análisis. Rege y Famula (1993) indican que los terneros que nacen tarde en el período tienden a ganar menos por día antes del destete y llegan más jóvenes al destete fijo que sus contemporáneos nacidos temprano. Sus resultados también indican que parir temprano fue más importante en el desempeño de terneros nacidos de hembras jóvenes que de hembras mayores. Hallaron que vaquillonas que parieron en los primeros 21 días del período de parto tenían un promedio más bajo en las subsecuentes fechas de parto. También, vacas que parían más tarde como vaquillonas continuaron pariendo más tarde en los partos subsecuentes con respecto a aquellas que de vaquillonas parieron más temprano. Estos autores remarcan que los partos de vaquillonas no están limitados por un parto previo, la mayoría tienen la oportunidad de parir temprano. Por lo tanto, las diferencias en el desempeño de las vaquillonas son un buen indicador de diferencias genéticas en la característica fecha de parto. Buddenberg et al. (1990) también indican que la atención debería estar puesta en la selección en contra de las fechas de parto tardías en vaquillonas y que la ventaja de esta selección sería menor peso al nacimiento, menor distocia y mayor tiempo de recuperación entre el parto y el servicio. Ambos trabajos

(Rege y Famula, 1993, Buddenberg et al., 1990) reportan mayores estimaciones de heredabilidad para días al parto en la primera parición que en las subsecuentes. Rege y Famula (1993) concluyen que días al parto es una mejor opción que intervalo interpartos como medida reproductiva. Bourdon y Brinks (1983) también demostraron la superioridad de la fecha de parto sobre el intervalo interpartos, ya que este último era más susceptible al sesgo causado por el uso de una época de apareamiento fija, dada su fuerte dependencia con la fecha de parto anterior. Johnston y Bunter (1996) demostraron que días al parto era también una medida adecuada del desempeño reproductivo en una gran base de datos sobre pastoreo. Dada la alta correlación genética estimada entre las características, los autores concluyeron que seleccionando por días al parto sería lo mismo que seleccionar por éxito al parto, con el beneficio agregado de poder distinguir entre aquellas que paren temprano y las que paren tarde. Los autores consideran que la alta correlación genética entre días al parto en la primer y segunda parición apoya el uso de un modelo de repetibilidad. Johnston et al. (2001) estimaron las heredabilidades y la relación entre días al parto y éxito al parto, teniendo en cuenta solo los registros de la primera parición para el análisis de ambas características. Los autores concluyeron que, desde un punto de vista de selección, días al parto y éxito al parto eran genéticamente similares, pero el primero presentaba mayor heredabilidad. Dada la correlación genética estimada entre las dos características, los autores sugieren que seleccionar por reducidos días al parto resultaría en incrementos correlacionados en éxito al parto.

A nivel nacional, Urioste et al. (2007) concluyen que día de parto es una característica que se observa fácilmente y muestra una considerable variación genética, independientemente del modelo usado. Los autores indican que podría ser una opción viable para la evaluación genética de reproducción en ganado de carne en Uruguay y que el uso simultáneo de la característica éxito al parto podría ser la mejor manera de tener en cuenta la naturaleza discreta de la información.

La evaluación de la característica días al parto requiere ciertas consideraciones adicionales en cuanto a las hembras sin registros. La figura 4 muestra esquemáticamente la diferencia entre vacas con distinto registro para esta característica y, como se observa en la figura, algunas hembras pueden no tener registros para esta característica por no presentar un parto (vaca 3).

Figura 4. Ilustración de la variable día de parto.



Fuente: Urioste (2008)

Notter (1988) y Meyer et al. (1990) enfatizaron la necesidad de incluir a todas las vacas en el análisis, también aquellas hembras que no tuvieron un parto en un período de tiempo determinado (falladas), para una válida estimación de componentes de varianza y evaluación genética. Notter (1988) notó que si la información de las vacas vacías es ignorada, aquellas vacas genéticamente inferiores y posiblemente más informativas son ignoradas. De esta forma, se podrían sobreestimar los valores de cría de aquellos padres de vacas falladas que no fueron incluidas. Donoghue (2006) también indica que, de modo de hacer el mejor uso de la información disponible para características reproductivas, debe considerarse la información de vacas vacías en la evaluación. Esta inclusión hace necesario asignarles un valor

proyectado o penalizado a los animales que no presentan un registro observado. Varios autores trabajaron en este sentido con diferentes estrategias. Johnston y Bunter (1996) utilizaron una penalización a través de valores fijos, de tres formas: asignar un valor de 380 días a todas las falladas y trabajando dentro de los grupos contemporáneos adicionando 21 o 42 días más al último registro de parto dentro del grupo. Este último método entiende que las hembras hubieran presentado un parto de haber tenido la oportunidad de estar en servicio en su siguiente o dos siguientes celos (21 o 42 días, respectivamente). Estos autores concluyen que asignar un valor penalizado de 21 días parece ser un método adecuado. Esto es debido a que los resultados de ese estudio mostraron poco efecto del método de asignación de penalización en las estimaciones de heredabilidad o repetibilidad, pero el método de 21 días de penalización asigna, en promedio, un valor similar al valor predicho a partir de la teoría del umbral y evita, además, el problema de valores de penalización menores a registros válidos. Este método de penalización para registros censurados de hembras que no parieron, adicionando 21 días más que la última fecha de parto dentro del grupo contemporáneo, también es el método implementado en las evaluaciones genéticas de esta característica en Australia (Graser et al., 2005). Otros autores trabajaron con distintos métodos: Donoghue et al. (2004) asumieron una distribución normal truncada, de forma de obtener un registro para las hembras falladas. Urioste et al. (2007) también trabajaron con datos faltantes y utilizaron tres enfoques: además de asignar una pena fija de 21 días y asumir una distribución normal truncada para estimar un valor, trabajaron con un tercer enfoque donde consideraron los datos como faltantes y estimaron los parámetros en un análisis lineal umbral incluyendo la característica binaria éxito al parto.

1.5.3 Registros de eventos reproductivos

La materia prima de las evaluaciones genéticas son los registros, entendiéndose por estos la información de identificación individual, genealógica y productiva. Los registros definen la calidad potencial de las evaluaciones genéticas, siendo necesario contar con información completa y precisa para obtener resultados confiables (Aguilar et al., 2005).

En la tabla 9 se resumen los momentos en los que deben ser tomadas las medidas de algunas características reproductivas (tomado de Rust y Groeneveld, 2001). Estos autores señalan que hay dos características que se tienen en cuenta para la producción a lo largo de toda la vida de la hembra, edad al primer parto y tasa de partos, e indican, también, que la intensidad del sistema de producción es lo que limitará la cantidad de características que pueden ser medidas y la frecuencia en la medición de estas. Por ejemplo, medidas de una característica como servicios por concepción es viable en un sistema de manejo intensivo, pero ya no lo es en un sistema semiintensivo y menos aún en uno extensivo. Medidas de preñez y ovulación requieren de habilidades y aparatos especializados y son costosas. Con esto, concluyen que serán apropiadas para incluir en el sistema de evaluación genética (de Sudáfrica, en su caso) aquellas características que son fácilmente medibles en la mayoría de los sistemas de producción y a un bajo precio. Dichas características incluyen: edad al primer parto, éxito al parto, intervalo interpartos, tasa de partos, sobrevivencia del ternero, días al parto y fecha de parto. Por último, los autores también comentan que los modelos específicos para estas características usualmente son difíciles y que es recomendable, también, tomar registro de fechas de servicios, fechas de entradas y salidas al rodeo,

y preñez.

Tabla 9. Momentos de registro de datos para varios caracteres reproductivos de la hembra (adaptado de Rust y Groeneveld, 2001).

Característica	VP	CP	N	ER	S ₁	E ₁	C ₁	C _{in}	Pr ₁	Pa ₁	FPa ₁	ST ₁	S _n	E _n	C _n	C _{nm}	Pr _n	Pa _n	FPa _n	ST _n	SR	
Edad al primer parto	X	-	X							X												
Tiempo al primer estro	-	X			X		X						X									
Largo gestación	-	X				X				X					X				X			
Servicios/concepción	-	X					X	X		X						X	X		X			
Tasa de preñez	-	X							X									X				
Éxito al parto	-	X											X								X	
Facilidad al parto	-	X										X								X		
Intervalo interparto		X								X									X			
Tasa de parto	X	-		X						X									X			X
Sobrevivencia ternero	-	X		X						X									X			X
Días al parto	-	X			X					X			X						X			
Tasa de ovulación	-	X				X																X
Fecha de parto	-	X								X												

VP = vida productiva, CP = cada parición, N = nacimiento, ER = entrada al rodeo, S = servicio, E = estro, C = calor, Pr = preñez, Pa = parto, FPa = facilidad de parto, ST = sobrevivencia del ternero, SR = salida del rodeo

Los registros reproductivos deben necesariamente ayudar en las decisiones del predio. La obtención de fenotipos reproductivos precisos y de bajo costo (o un fenotipo heredable y genéticamente correlacionado) es clave para una ganancia genética rápida y sostenible (Berry et al., 2014). Si bien encontrar un modelo apropiado para las características reproductivas es un componente relevante de cualquier evaluación genética, los modelos estadísticos sofisticados no pueden compensar la mala calidad de los datos (Urioste, 2008). Según Cammack et al. (2009), el registro de las variables reproductivas, junto con una mejora en las metodologías de análisis de esa información, brinda oportunidades para el mejoramiento de la fertilidad a través de la selección.

Según Donoghue (2006), la principal limitante para la evaluación genética de fertilidad es la falta de registros disponibles de información de campo. Además de la variabilidad en medidas de fertilidad y de no llegar a un acuerdo en cuanto a cuál característica evaluar y usar para seleccionar, el tiempo necesario de intervalo para registrar dicha información puede ser bastante largo, lo que reduce la cantidad de información disponible de muchas poblaciones (Cammack et al., 2009). En sistemas de entore a campo, la única información rápidamente disponible es si la vaca produjo un ternero o no y cuándo fue el parto (Meyer et al., 1990, Donoghue, 2006).

En países donde han sido incorporadas características reproductivas a las evaluaciones genéticas, la forma de recoger la información se conoce como reporte total del rodeo (RTR o WHR, del inglés *whole herd reporting*). El objetivo del RTR es acumular información reproductiva y de desempeño individual a lo largo de toda la vida productiva del animal. Para esto es necesario que todos los animales del rodeo posean registros completos. En este tipo de reporte, el eje de la información es la vaca, desde su nacimiento, pasando por todas las instancias de reproducción hasta el momento de su refugio (Lema y Ravagnolo, 2008). Según Johnston (2014), recolectar información de calidad para una evaluación genética de características

reproductivas en ganado de carne requiere de la implementación del sistema de reporte total del rodeo. Este sistema, continúa el autor, asegura capturar los efectos fijos necesarios y, lo que es más importante, los registros de las hembras del rodeo que fallan en expresar la característica (por ejemplo, no preñada o sin parto).

Es necesario el reporte de información de todo el rodeo en la industria del ganado de carne para la implementación de las predicciones genéticas de las características reproductivas. Reportes de información de todo el rodeo son críticos para características en donde las vacas pueden ser descartadas del rodeo productivo por razones que no están relacionadas con la fertilidad (Cammack et al., 2009). Urioste et al. (2007), en un estudio nacional, concluyen que mejoramientos en la calidad de la información para el esquema de datos del ganado, tales como diseñar un sistema completo de registro de inventario de hembras, identificar fechas de ingreso, estado de preñez en vacas y vaquillonas, días de entrada y salida de los toros con monta natural, tipo de servicio utilizado (IA o monta natural) y códigos de disposición de vacas ayudarían a efectuar una selección directa en las características reproductivas en hembras de importancia económica.

El RTR busca mayor información reportada para incluirla en las evaluaciones genéticas, anima a reportar información de todos los animales y reduce el reporte selectivo. El RTR mejora la confiabilidad de las DEP en general, pero es especialmente importante para computar las DEP reproductivas. En características como las reproductivas en las cuales el éxito o no éxito es crítico, el RTR tiene una clara ventaja. Saber cuáles hembras fueron expuestas al servicio y cuáles tuvieron éxito resulta clave para estimar un DEP confiable.

1.5.3.1 Software SRGen

La principal debilidad detectada en los sistemas de registro tradicionales, basados en el registro del peso del ternero al momento de destete, es que la vaca vacía no queda registrada en el sistema (Urioste, 2008). Bajo el sistema de registro tradicional en Uruguay, se asume que todas aquellas vacas que no presentan un ternero registrado en la Asociación Rural del Uruguay fueron falladas. En este sentido, se podría estar subestimando aquellos padres de hembras que sí presentaron un parto, pero no cuentan con registros por motivos no reproductivos (oportunidad de venta de la hembra, no registrar el nacimiento del ternero, etc.). De la misma forma, al no haber registro de servicios, se podría estar sobreestimando padres que han tenido muchos servicios y pocos partos registrados. Debido a esto, surge la necesidad de una nueva forma de recolección de registros que, debido a información más detallada de los eventos en el rodeo, requiera una menor incorporación de supuestos para aumentar la precisión en las estimaciones.

No contar con registros de las causas por los cuales algunos terneros no fueron medidos (muerte, refugo, etc.) es un punto que constituye una clara limitante para la evaluación de características reproductivas, donde todos los eventos relacionados a la vida productiva de una vaca y sus hijos son importantes. Es también relevante disponer de información de fallas al entore y de otros movimientos del rodeo como muertes y venta de vacas y/o terneros. Para poder realizar comparaciones justas del desempeño reproductivo de las vacas durante su permanencia en el rodeo de cría, se crea la necesidad de incorporar información adicional (Lema y Ravagnolo, 2008).

Pravia et al. (2014), Urioste et al. (2007) y Larracharte (2018) son investigaciones nacionales que trabajaron con características reproductivas y remarcaron la importancia de incluir dichas características en las evaluaciones genéticas nacionales y la necesidad de implementar un sistema de RTR para tal fin.

El SRGen es un programa en base web desarrollado por INIA, actualmente usado para el registro de la información reproductiva de las cabañas participantes de las evaluaciones genéticas. Su diseño ha contemplado los diferentes sistemas desarrollados a nivel internacional (BIF, BIOS, Breedplan, ICAR). Se basa en el sistema de RTR, realizando un seguimiento de todos los eventos productivos y reproductivos de las vacas a lo largo de su vida, independientemente que la vaca se preñe o no, y donde es importante el registro de los motivos por los que una vaca no se encuentra en el rodeo en determinado momento. Para el cumplimiento del objetivo, es importante, también, poder distinguir entre un descarte de una vaca por problemas reproductivos o por una oportunidad de venta, u otras razones (Lema et al., 2013).

El SRGen se divide en 6 módulos: stock del rodeo, padres, servicios, pariciones, destete y pesadas posdestete y circunferencia escrotal. Este sistema de registro permitirá registrar la información actualmente utilizada en las evaluaciones genéticas, así como la información reproductiva a incorporar. El software dispone, a su vez de un módulo de diagnóstico de gestación, así como de reportes que resumen los manejos realizados en el rodeo (Lema et al., 2013).

Según Lema et. al. (2013), a medida que se disponga de una base de datos completa con información de varios años, se podrán analizar nuevas características y, a partir de estas, generar nuevos índices que optimicen el retorno económico de las decisiones de selección.

1.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

1.6.1 Modelos estadísticos

Los modelos estadísticos son una abstracción simplista de la realidad, matemáticamente formalizada, utilizados para estudiar cualquier característica. Si bien modelos más complejos pueden ser necesarios para revelar la biología de las características y acercarse más a la «realidad», modelos más sencillos pueden ser suficientes para evaluaciones genéticas. La complejidad del modelo necesita ser balanceada con cantidad de información. Algunos modelos pueden parecer lejanos a la realidad, pero pueden ser muy buenas aproximaciones, que son mucho más simples de computar. Son abundantes los reportes de la literatura que indican que modelos simples y modelos complejos estiman valores de cría similares (Miształ, 2008). Como indica el estadístico George P. Box: «Todos los modelos están mal, sin embargo, algunos son útiles». Existen varios tipos de modelos, entre ellos, modelos lineales o umbrales, padre o animal, así como unicaracter o multicaracter.

1.6.1.1 Modelo lineal y umbral

Los caracteres cuantitativos o métricos son aquellos que presentan una variación de clases continua y su estudio depende de la medición de estas. La mayor parte de los caracteres de valor económico para los criadores de animales son caracteres métricos (Falconer, 1981) y estos pueden ser descritos por un modelo lineal. Si las observaciones son expresadas fenotípicamente como pertenecientes dentro de una de las m categorías, entonces los datos son categóricos, discretos y no-continuos. Si la característica presenta dos categorías, $m = 2$, entonces es una característica «todo o nada» o binaria. Las características categóricas pueden ser heredadas de manera poligénica y, en estos casos, el modelo utilizado es conocido como modelo umbral (Schaeffer, 2019).

La herencia de tales caracteres es explicada por la idea de que el carácter tiene una continuidad subyacente con un umbral que impone una discontinuidad en la expresión visible. Cuando la variable subyacente se encuentra por debajo de ese nivel de umbral, el individuo tiene una forma de expresión fenotípica, y cuando se encuentra arriba del umbral, presenta la otra expresión fenotípica. La variable continua subyacente es de origen tanto genético como ambiental y puede ser pensada como la concentración de alguna sustancia o la tasa de algún proceso del desarrollo, es decir, que podría ser medido y estudiado como un carácter métrico (Falconer, 1981). Técnicamente, es incorrecto hablar de una escala fenotípica, por lo que esta escala es llamada escala subyacente (*liability*, en inglés). Con esta escala subyacente se puede aplicar el modelo genético de caracteres continuos a los caracteres umbrales y, así, expresar los valores de cría (Bourdon, 2000).

Un ejemplo de una característica umbral es la preñez, un rasgo de fertilidad medida como el éxito o no éxito en concebir. Se cree que esta medida de fertilidad está influenciada por muchos genes y es, por lo tanto, un rasgo poligénico, pero no un típico rasgo poligénico, sino uno umbral con solo dos fenotipos: preñada y no preñada. Los valores genotípicos, los valores de cría, los valores de combinación genética y los efectos ambientales para características umbrales, como la preñez, se distribuyen de forma continua. Los animales pueden diferir en estos valores por aumentos muy pequeños, al igual que los caracteres cuantitativos (Bourdon, 2000). La naturaleza categórica de algunas características reproductivas constituye uno de los desafíos de incluirlas en las evaluaciones genéticas, ya que la mayoría de las evaluaciones están configuradas con modelos lineales (Johnston, 2014).

El modelo lineal general es:

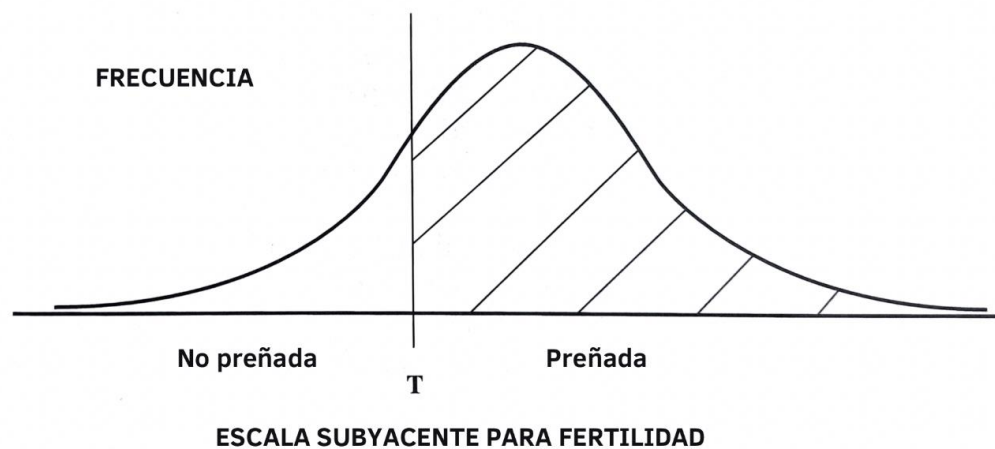
$$y = Xb + Zu + e$$

Donde y es el vector de observaciones de características continuas, pero en el caso de datos categóricos representa una variable en la escala

subyacente. La escala subyacente no es observable y, por lo tanto, en los modelos umbrales el vector y es desconocido. El vector y es conocidamente afectado por efectos fijos, b , y efectos aleatorios, u , tales como los efectos genéticos aditivos del animal, y los efectos aleatorios ambientales (o residuales), e , X y Z son matrices que relacionan a las observaciones con los factores del modelo. Uno de los supuestos en los modelos umbrales es que la varianza residual es fija en el valor 1 (Schaeffer, 2019).

En la figura 5 se observa una representación de la escala subyacente. Se presenta el umbral T , un punto en la escala subyacente, por encima del cual los animales exhiben un fenotipo y por debajo del cual exhiben otro fenotipo.

Figura 5. Distribución de escala subyacente para una característica de fertilidad medida como éxito o no éxito en la preñez.



Fuente: adaptado de Bourdon (2000).

La respuesta observada de forma categórica debe, por lo tanto, a que los animales exceden un nivel de umbral particular (t_i) de la característica subyacente. Por lo tanto, con m cantidad de categorías de respuesta (k), hay $m - 1$ umbrales, siendo $t_1 < t_2 < t_3 \dots, t_{m-1}$. Asumiendo que la escala subyacente (l) presenta distribución normal ($l \sim N(0,1)$) y la función $\Phi(k)$ es la

función de distribución estándar acumulada de la distribución normal. Por lo que $\Phi(k)$ es el área debajo de la curva normal hasta la k -ésima categoría, inclusive. Siendo m categorías, $\Phi_k=1$ cuando la k -ésima categoría es igual a m . $P(k)$ define la probabilidad de observar un fenotipo dado por la categoría k asumiendo la distribución normal, por lo que $P(k) = \Phi(k) - \Phi(k-1)$ o, lo que es lo mismo, $P(k) = \Phi(t_k) - \Phi(t_{k-1})$ (Mrode, 2005).

1.6.1.2 Modelo animal y modelo padre

El modelo padre fue uno de los primeros modelos utilizados en el mejoramiento genético animal y se utilizó para evaluaciones genéticas de toros lecheros para la habilidad productora de leche de sus hijas. Este modelo es relativamente simple de utilizar, pero presenta muchos supuestos en comparación con el modelo animal (Schaeffer, 2010).

El modelo padre se define de la siguiente forma:

$$y = Xb + Wh + Qg + Zs + e$$

Donde y es el vector de la primera lactación en producción de leche, b es el vector del efecto año-época, h es el vector del efecto rebaño-año-época, g es el vector del efecto de grupo genético, s es el vector de las habilidades transmisibles del toro y e es el vector de los residuales. X , W , Q y Z son matrices que relacionan a las observaciones con los factores del modelo (Schaeffer, 2019). Las relaciones entre toros suelen formarse basadas en el padre y el abuelo materno de cada toro, en vez de padre y madre (Schaeffer, 2010).

Según Schaeffer (2019), los supuestos de este modelo son: 1. los toros no están emparentados los unos con los otros, 2. los toros son apareados de forma aleatoria con las hembras, 3. la progenie es una muestra aleatoria de hijas, 4. las hijas de los toros son distribuidas de forma aleatoria en rebaño-año-época y 5. la producción de leche es ajustada perfectamente para edad y mes de parto. Schaeffer (2010) también indica que un supuesto del modelo es que las hembras se aparean con un solo toro y tienen una sola progenie.

Las limitaciones de este modelo, según Schaeffer, (2019) son: 1. los toros están emparentados entre ellos, 2. los toros no son apareados de forma aleatoria con las hembras, 3. las hijas de los toros más valiosos tendían a estar asociadas con rebaños más ricos que supuestamente tenían mejores ambientes, 4. los factores de ajuste de edad-mes de parto no estaban libres de errores, 5. solo eran utilizados los registros de la primera lactación y 6. las vacas no eran evaluadas.

Los supuestos y limitaciones del modelo padre motivaron el cambio al modelo animal. Además, en cualquier área de investigación biológica, las observaciones son tomadas de los individuos. Por lo tanto, la unidad experimental es el individuo o animal (Schaeffer, 2019). En general, el modelo para una sola característica puede ser escrito como:

$$y = Xb + Wu + Za + Zp + e$$

Donde y es el vector de observaciones para una característica, b es el vector de efectos fijos que afectan a la característica de interés y no son de origen genético, u es el vector de efectos aleatorios, a es el vector de efectos genético aditivo del animal (valores de cría) para todos los animales incluidos en la genealogía, tengan o no observaciones, p es el vector de efectos ambientales permanentes para los animales que tienen observaciones y e es el vector de los efectos residuales. X , W , Q y Z son matrices que relacionan a las observaciones con los factores del modelo (Schaeffer, 2019).

Los supuestos del modelo animal, según Schaeffer (2019), son los siguientes: 1. la progenie de los pares toro-hembra es generada aleatoriamente y no seleccionada entre toda la progenie posible de ese par; 2. Henderson asumió, originalmente, que los animales se apareaban aleatoriamente y que la consanguinidad ocurría debido al tamaño finito de la población; sin embargo, apareamientos dirigidos son tenidos en cuenta a través de la matriz de parentesco; 3. los animales son dispersos de forma aleatoria entre los niveles de efectos fijos y otros factores aleatorios; 4. las

observaciones son obtenidas tanto de hembras como de machos, pero si son obtenidas en ambos sexos, entonces el supuesto es que los padres tendrían el mismo ranking si se basaran solo en un género o en el otro; 5. no debería haber tratamientos preferenciales para individuos o grupo de individuos; 6. los animales no deben ser omitidos del análisis por tener observaciones muy bajas o muy altas; es decir, los datos no deben ser un subconjunto seleccionado de todos los posibles animales; 7. no hay efectos de competencia entre animales; cada animal es capaz de expresar su potencial genético máximo sin ser restringido por otro individuo de su grupo contemporáneo y 8. los animales deben ser de una población común con la misma varianza genética en la generación base.

El modelo animal utiliza la matriz relación genética aditiva y, a través de esta, todo apareamiento es identificado mientras sean conocidos los padres de cada animal. Consecuentemente, toda la no aleatorización en los apareamientos es descripta y considerada en el análisis si la matriz de parentesco es completa (Schaeffer, 2019).

1.6.1.3 Modelo unicaracter y multicaracter

Un modelo unicaracter es aquel en el cual solo una característica es analizada, mientras que un modelo multicaracter es uno en el cual dos o más características son analizadas simultáneamente de forma de aprovechar las correlaciones genéticas y ambientales entre las características (Schaeffer, 2019).

Los modelos multicaracteres son útiles para características en las que la diferencia entre correlaciones genéticas y residuales son grandes o cuando una característica tiene una heredabilidad mucho mayor que la(s) otra(s). Las estimaciones de valores de cría para características con baja heredabilidad tienden a ganar más precisión que las de características con alta heredabilidad, aunque todas las características se benefician en cierta medida por el análisis simultáneo. Otro uso de los modelos multicaracteres es para

características que ocurren en diferentes momentos en la vida del animal o que son solo medidas en algunos animales. No todos los animales son medidos para todas las características y, por lo tanto, en estos casos se puede lograr mejorar la precisión para todas las características al analizarlas juntas en un modelo multicaracter. Por otro lado, animales que tienen observaciones tarde en la vida tienden a haber sido seleccionados con base en su desempeño en características más tempranas. Por lo tanto, el análisis de las características de medición tardía por sí mismas puede sufrir efectos de sesgo por descarte y el valor de cría estimado resultante puede inducir errores en la elección de los futuros padres (Schaeffer, 2019).

1.6.2 Estadística clásica y bayesiana

La estadística presenta varios métodos para ayudar al investigador que busca hacer inferencias o predicciones sobre el fenómeno en estudio y, en particular, la estadística bayesiana ha ganado fuerza en los últimos años en la mejora genética animal. Daniel Gianola y Rohan Fernando proponen por primera vez el uso de la estadística bayesiana en la mejora genética animal en un artículo publicado en 1986 (Timpani y Costa do Nascimento, 2015).

La estadística clásica considera que existe un solo valor para el parámetro estudiado, mientras que en la estadística bayesiana se considera la existencia de varios valores posibles para el parámetro, lo que origina, así, una distribución de probabilidades de esos valores para los datos estudiados (Leandro y Memória, citados por Timpani y Costa do Nascimento, 2015).

La estadística clásica presenta algunas limitaciones, tales como la necesidad de grandes recursos computacionales, la presuposición de normalidad y la construcción de intervalos de confianza correctos (Nogueira et al., citados por Timpani y Costa do Nascimento, 2015), las cuales pueden ser levantadas con la estadística bayesiana. Según Gianola y Fernando (1986), un punto interesante en la aplicación de estadística bayesiana en el mejoramiento animal es que la distribución de los datos no precisa ser,

necesariamente, una distribución normal, siendo posible utilizarlo en la evaluación de características con otros tipos de distribución (como, por ejemplo, características umbrales).

En la revisión de Timpani y Costa do Nascimento (2015), los autores explican que la estadística bayesiana utiliza un conocimiento previo del investigador (información *a priori*) adicionalmente a los datos en el análisis estadístico. La información *a priori* en la estadística clásica no es usada porque es considerada, en la mayoría de los casos, subjetiva. La información *a priori* es la información sobre los parámetros estudiados obtenidos o existentes antes de la realización del experimento y sirve, en la estadística bayesiana, para expresar tanto conocimiento como ignorancia sobre esos parámetros. La contribución de la información *a priori* es relativamente más importante cuando la cantidad de datos es escasa, en comparación a cuando es abundante. En el enfoque bayesiano, la forma de estudiar los parámetros consiste en utilizar la distribución posterior que muestra el intervalo en el que se encuentra el valor real del parámetro y calcular las características de esa distribución (media, varianza, moda, etc.). La distribución posterior es la descripción completa y la actualización de conocimiento sobre el parámetro obtenido a partir de la información *a priori* y de la información de los datos.

En mejoramiento genético animal, las inferencias obtenidas en ambas escuelas no son siempre coincidentes, particularmente para las muestras pequeñas y cuando el análisis bayesiano utiliza informaciones *a priori* muy informativas. Sin embargo, cuando el conjunto de datos es lo suficientemente grande, los resultados son bastante similares en la mayoría de los casos. (Leandro y Memória, citados por Timpani y Costa do Nascimento, 2015).

1.6.3 Estimación de componentes de varianza

En cualquier proyecto de mejoramiento genético animal es necesaria la estimación de componentes de la varianza. Los softwares usados normalmente en la estimación de parámetros en mejoramiento genético

utilizan predominantemente dos metodologías: máxima verosimilitud residual (REML) utilizando la estadística clásica, y la Bayesiana a través de muestreo de Gibbs (BaGS) (Misztal, 2008).

Las fórmulas REML son bien conocidas en los modelos lineales cuando las características se distribuyen de forma normal. Cuando las características no se distribuyen de forma normal, las fórmulas pueden ser muy complicadas. Por ejemplo, una aproximación de REML aplicada a modelos umbrales resulta en estimaciones cada vez más infladas de heredabilidad con aumentos del número de niveles de los efectos fijos. En el caso de BaGS, se pueden estimar modas, medias y su desvío estándar. Para modelos lineales, las estimaciones de las modas son muy similares a las correspondientes estimaciones de REML. Para el caso de los modelos umbrales, BaGs predice la variable subyacente y luego continúa como si el modelo fuera lineal (Misztal, 2008).

Timpani y Costa do Nascimento (2015) en su revisión indican que los modelos de simulación (o muestreo) son utilizados para analizar el comportamiento de uno o más efectos estudiados que no son conocidos con certeza. En este caso, estos efectos se conocen como variable aleatoria y su comportamiento se describe mediante una distribución de probabilidad. En este método, el valor estimado es un promedio de los valores obtenidos en todas las iteraciones realizadas y no se puede decir que este sea el valor exacto del parámetro. Esa diferencia entre los valores estimados y real es llamada error de Monte Carlo. La confiabilidad de la estimación del parámetro estudiado será mayor cuanto menor sea el error y será tanto mejor cuanto mayor sea el número de las muestras utilizadas en la estimación. El método de cadena de Markov es un proceso en el que la probabilidad de cierto valor en el tiempo futuro depende del valor del parámetro en la iteración actual y no de los valores estimados en iteraciones anteriores. Esos valores generados por la cadena de Markov son considerados muestras aleatorias de distribución de probabilidad del parámetro estudiado. La acción conjunta de los dos métodos se denomina método de Monte Carlo a través de la cadena de

Markov (MCMC), usado frecuentemente en la estimación de parámetros genéticos por medio de la estadística bayesiana en el mejoramiento genético animal. Como concluyen Timpani y Costa do Nascimento (2015) en su revisión, el método MCMC es, por lo tanto, un modelo de simulación que utiliza la generación de una secuencia (cadena de Markov) de números aleatorios (muestras) para atribuir valores a los parámetros que se desea investigar.

Los autores Timpani y Costa do Nascimento (2015) explican en su revisión que la idea de los procesos iterativos, como Monte Carlo, es generar valores de variable aleatoria x , en que, a cada pasaje (iteración), millares de valores van siendo generados para el parámetro, creando una distribución para ese parámetro, hasta llegar a una distribución bastante próxima a la original, es decir, cuando ocurre una convergencia. Los autores también señalan en la revisión, que el valor generado en la iteración solo depende del valor de la iteración anterior. Así, el valor generado para el parámetro en una iteración solo es relevante para generar el valor de la iteración siguiente, siendo, por lo tanto, irrelevante en la predicción de los valores futuros. Esto genera que los valores consecutivos estén altamente correlacionados e interfieran en las estimaciones de los parámetros estudiados. De esa forma, si el primer valor fue utilizado como resultado, es necesario que ocurra un intervalo muestral (*thining Interval*) en el que se descartan algunos valores después del valor usado para no dañar los resultados.

El muestreo de Gibbs es un procedimiento que toma muestras de la distribución conjunta o marginal de todos los parámetros estudiados (por ejemplo, los componentes de varianza que describen una característica) mediante muestreo repetido, formando una cadena de Markov. Esta cadena corresponde a una secuencia de muestras de posibles valores atribuidos a los parámetros estudiados. A medida que aumenta el número de iteraciones, la secuencia de valores generados (cadena) se acerca a la distribución de equilibrio y cuando se alcanza este equilibrio se dice que ha ocurrido

convergencia (Policarpo, Savian, Silva y Timpani, citados por Timpani y Costa do Nascimento, 2015).

La convergencia de la cadena para la distribución de equilibrio no ocurre inmediatamente luego del inicio del proceso iterativo y, normalmente, las primeras muestras (valores) generados se correlacionan en gran medida con los valores dados inicialmente por la distribución *a priori* utilizada. Entonces, las muestras iniciales deben ser descartadas para la estimación final de los parámetros. El tamaño de ese período de descarte inicial es llamado *burn in* (Policarpo, citado por Timpani y Costa do Nascimento, 2015).

El número de muestras necesario o largo de cadena puede variar de 1000 a millones; un número generalmente usado es alrededor de 20.000. El número total de rondas debe ser lo suficientemente grande para recolectar un número adecuado de muestras efectivas. La calidad de las estimaciones de BaGS depende, principalmente, de la calidad de los generadores de números pseudoaleatorios y de la decisión del *burn in* y el largo de la cadena. Mas allá del criterio estadístico, una manera comúnmente utilizada de determinar el *burn in* es por inspección visual de las muestras (Misztal, 2008).

En general, las estimaciones de BaGS serán diferentes cada vez que un análisis es corrido debido al muestreo aleatorio involucrado. Por lo tanto, las estimaciones serán similares para parámetros con más información (y menor SE), pero pueden ser muy diferentes para parámetros con poca información (Misztal, 2008).

Casi siempre, BaGS resulta en menores requerimientos de memoria que REML. Si las ecuaciones de modelo mixto son recreadas en cada ronda, la corrida puede tomar mucho tiempo. Sin embargo, optimizar el proceso puede reducir de gran manera el tiempo por ronda, y muchos tipos de optimizaciones son posibles. Mientras que correr REML es bastante automático, correr BaGS puede requerir mucho más involucramiento; por

ejemplo, se necesita determinar el largo de *burn in* y la cantidad de rondas para un número suficiente de muestras efectivas (Miształ, 2008).

1.7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Las características reproductivas no se encuentran presentes hoy en las evaluaciones genéticas nacionales, a pesar del margen de mejora y de la relevancia económica de estas en los sistemas productivos nacionales. Para incluirlas en las evaluaciones genéticas y poder realizar una selección genética de los animales en este sentido, es necesario, primero, estimar parámetros genéticos tales como la heredabilidad y correlaciones genéticas. Si bien se han estimado parámetros genéticos para características reproductivas a través de bases de datos de sistemas tradicionales de registro, resulta clave realizar estas estimaciones a partir de datos obtenidos de un sistema de reporte total del rodeo. El software SRGen ha recabado información mediante esta metodología desde el 2015, y, en este trabajo se estudia la primera extracción de los datos de este sistema.

La hipótesis de este trabajo es que existe varianza genética aditiva y correlación genética favorable estimables para características reproductivas a partir de los datos nacionales disponibles.

El objetivo general es estimar parámetros genéticos en características reproductivas en bovinos para carne en Uruguay a partir de un sistema de reporte total del rodeo por primera vez.

Este trabajo presenta dos objetivos específicos. El primero es identificar las características reproductivas que puedan potencialmente ser utilizadas en futuras evaluaciones genéticas y permitan una estimación de parámetros genéticos a partir de los datos extraídos del software SRGen para la raza Aberdeen Angus. El segundo objetivo específico es estimar la heredabilidad para las características elegidas y la correlación genética entre ellas.

2. GENETIC PARAMETERS OF DAYS AT FIRST CALVING AND FIRST CALVING SUCCESS IN URUGUAYAN BEEF CATTLE *

María Noel Reissig¹, Mario Lema², Ignacio Aguilar¹, Olga Ravagnolo¹

¹Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Programa Producción Carne y Lana. Estación Experimental INIA Las Brujas. Ruta 48 km. 10, Canelones, Uruguay.

²Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Programa Producción Carne y Lana. Estación Experimental INIA Treinta y Tres. Ruta 5 km. 302, Treinta y Tres, Uruguay.

2.1 ABSTRACT

Uruguayan total herd reporting data from SRGen software was analyzed for the first time in this study. Angus heifer records under Uruguayan productive conditions were used to estimate genetic parameters for reproductive traits, which are not included at present in the national genetic evaluation. Days at first calving was defined as the interval in days between the first mating date and the subsequent calving. Heifers that failed to calve were assigned a penalty value of 21 days beyond the maximum day within contemporary group (CG). First calving success was defined as the presence of calf in a heifer present at the mating, resulting in a binary distribution. The models included the effect of CG, a combination of herd, year of calving and type of mating, and the effects age at mating, sire additive genetic effects, and residual. Posterior means (SD) of heritability was 0.10 (0.04) for days at first calving and 0.021 (0.017) for first calving success. Favourable negative genetic correlation posterior mean (SD) obtained for both traits was -0.39 (0.26). These results indicate that days at first calving can be included in national genetic evaluations representing reproductive traits. This inclusion would allow a genetic improvement of Uruguayan Angus cattle reproductive performance directly in this trait, and indirectly in first calving success.

Keywords: beef cattle, heritability, genetic parameter, reproductive traits.

*Artículo a ser presentado en la revista *Livestock Science*. El formato está de acuerdo a las exigencias de la revista, en idioma inglés.

2.2 INTRODUCTION

Beef cattle production in Uruguay occupies 15 million hectares with a total of 48,650 farms, of which 52 % are breeders. Hereford and Aberdeen Angus are the predominant breeds (MGAP-OPYPA, 2018) and natural mating is the predominant type of service, with an average duration of 90 days, at a fixed time of the year during the summer, while artificial insemination is less used and generally has a duration of 45 days. Consequently, spring is the more common calving season in the country. Of the total number of heifers, around 71 % corresponds to heifers between 1 and 2 years of age during the last 8 years (DIEA, 2019). Generally, the calf remains with the mother until 6 months of age, when it is weaned.

In Uruguay, the reproductive efficiency of beef cattle is low, with an average of weaned calves per breeding cow for the last eight years of around 65 % (DIEA, 2019), in a range that varies between 50 and 75 % (DIEA, 2003). Cow-calf production systems in Uruguay are based on extensively grazed natural pastures, with a low percentage of improved pastures (DIEA, 2019). Reproductive performance is, consequently, and considering its low heritability, strongly influenced by environment and highly dependent on management decisions, but it does present a genetic base (Urioste, 2008).

Genetic improvement programs aim to identify and promote animals that adapt best to the existing production conditions and, at the same time, improve the economic benefit of the farms. In order to obtain this improvement, it is necessary to use objective and precise information about the candidates for selection (Aguilar et al., 2005).

Studies of Pravia et al. (2014) and Urioste et al. (1998) in breeding objectives for Uruguayan production systems concluded that reproductive traits were the most economically important traits, even three times more important than growth and food intake ones. Uruguay has had a national genetic evaluation system for more than 30 years for the main beef cattle

breeds of the country, but these have been mainly focused on growth and carcass quality traits, being genetic evaluation for reproductive traits not yet available, despite the economic relevance of the traits in the national production systems.

Genetic improvement of reproductive traits has generally been hindered, national and internationally, because of lack of information, low heritability, and delayed expression of these traits (Cammack et al., 2009). Reproduction is also a complex trait and, hence, there are many different measures of reproductive performance. It is unlikely that one individual measure will be able to completely predict reproductive performance, given the nature of reproductive records (Donoghue, 2006).

Total herd reporting is the way to collect information used in countries where reproductive traits have been incorporated into genetic evaluations. The aim of this report system is to accumulate reproductive information and individual performance throughout the productive life of the animal. International authors have remarked that whole- or total-herd reporting is necessary in the beef cattle for genetic prediction of fertility traits (Cammack et al., 2009; Donoghue, 2006; Rust and Groeneveld, 2001). Pravia et al. (2014) Urioste et al. (2007) and Larracharte (2018) are national investigators that worked with reproductive traits and highlighted the importance of including them in national genetic evaluations and the need to implement a whole herd reporting system for this purpose. Thus, Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) has created SRGen (Lema et al., 2013), the first software for total herd reporting system for beef cattle in Uruguay, which collects information from breeders across the country since 2015.

The objective of this work is to estimate genetic parameters in reproductive traits in beef cattle in Uruguay, using information from a whole herd reporting system for the first time.

2.3 MATERIALS AND METHODS

Animal Care and Use Committee approval was not obtained for this study because the data were obtained from an existing database.

2.3.1 Data

Data used in this study corresponds to Aberdeen Angus breed extracted from the SRGen software, and genealogy information provided by the Rural Association of Uruguay (ARU). Few animals or herds presented constant recording over the years on SRGen, since it is not mandatory so far.

Editing of the raw data was needed and RStudio software (R Development Core Team, 2016) was used for this purpose. Records included in the analysis correspond to females that had the opportunity to calve (were present at the mating) between the years 2016 and 2020. Records of calving year within herds were used only if calvings were more than 20 % and less than 100 % of the cows with at least one recorded service. Only spring calving records that were not from embryo donors or recipients, and with days from first mating to calving between 244 and 410 days (considering the matting period) were used.

Change in the information collection system generated information gaps in those animals that were already active in the stock at that moment, showing, for instance, a great variability of first female's service ages. Accordingly, females were considered heifers if the first recorded service was from 11 up to 43 months of age, which turned out to be the only category with enough records to work with.

After editing, there were 1348 records of heifer services belonging to 14 herds, which were daughters to 216 different bulls. Only the first type of mating each female had in the breeding season was considered and there were three different types of matings after editing: natural mating, artificial insemination, and artificial insemination at fixed time.

Contemporary group (CG) was defined as the combination of herd, year of calving, and type of mating (see Statistical Model). Only CG with variability in calving success, with more than one sire and with 3 or more animals were considered, resulting in 36 CG.

2.3.2 Traits

Analyzed traits were days at first calving (DC) and first calving success (CS), given available data, the advantage of the early information in a female lifetime and ease of registration.

Days at first calving was defined as the days between the beginning of first mating and subsequent calving. The beginning of first mating was the date of the first insemination of the heifer or the date of beginning of the mating season of the group, depending on type of mating, and heifers that calved had the calving date. Heifers that were present at the mating season and did not calve were penalized with 21 days over the latest calving date within the same CG, as recommended by Johnston and Bunter (1996) as a suitable method after comparing different methods of assigning projected values for non calvers.

First calving success was defined as the presence of calving in a heifer present in the mating, this trait has a binary distribution where the calving heifers were assigned as 1, and those that did not present calving record were assigned a 0 (failed).

2.3.3 Statistical Model

Significance of fixed effects and goodness of fit of the models were tested using a PROC GLM for the continuous trait DC and PROC GENMOD for threshold trait CS (SAS Institute Inc., 2014). Herd, year of calving, and type of mating were tested as combined fixed effects (CG) and age at first mating was tested as a covariable effect. Significance was tested in Type III sums of squares in the GLM procedure and analogous Type 3 analysis in the GENMOD procedure.

A sire model was used for variance and covariance estimations. Univariate models were used to estimate variance components of each trait, and a bivariate model was used to estimate covariance components. Software from the BLUPF90 suite of programs (Misztal et al., 2014) were used for these estimations. GIBBS2F90 was used for the continuous trait DC and THRGIBBSF90 for threshold trait CS and the bivariate analysis. Gibbs sampling estimations were obtained from a chain of 500,000 iterations with a 200,000 burn in, saving every 10 samples. For computational purposes, CS codes were transformed to 1 and 2 (failure and success, respectively).

The general model used, in matrix notation can be written as:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} + \mathbf{Z} \mathbf{s} + \mathbf{e}$$

For days at first calving, \mathbf{y} corresponds to the vector of observation, $\boldsymbol{\beta}$ is the vector of fixed effects and \mathbf{X} corresponds to its incidence matrix. The vector $\boldsymbol{\beta}$ includes the fixed effect CG and age at mating (months); \mathbf{s} is the vector of additive genetic effects of the sire [$\mathbf{s} \sim N(0, \sigma_s^2 \mathbf{A})$] where \mathbf{A} is the numerator relationship matrix of sires; \mathbf{Z} is its incidence matrix, and \mathbf{e} is the vector of residual effects [$\mathbf{e} \sim N(0, \sigma_e^2)$]. The model for first calving success is similar, where the vector \mathbf{y} corresponds to the underlying values (liability) of this trait, and σ_e^2 is fixed to 1. In the bivariate analysis, sire additive genetic effects were assumed to follow a multivariate normal distribution, $\mathbf{s} \sim N(0, \mathbf{G}_0 \otimes \mathbf{A})$, where \mathbf{G}_0 is the (co)variance matrix between sire effects.

2.4 RESULTS AND DISCUSSION

2.4.1 Models

The combination of herd, year of calving and type of mating was considered as the CG, being a significant fixed effect ($p < .0001$) for both DC and CS. The average number of animals per CG was 37 (SD 38) with 13 groups with less than 10 animals. Age at mating was not a significant covariable effect for DC ($p = .6188$) and CS ($p = .3598$) with GC considered. It is probable that age at mating is related with the management within GC and

that it might be significant in the bigger contemporary groups, so it was decided to maintain it in the models for variance component estimation.

Johnston and Bunter (1996), working with similar effects, found herd and year-month of joining to be significant for days to calving ($p < .001$) and subsequently incorporated these effects into a current joint management group definition with service sire. Bourdon and Brinks (1983) results working with calving date also indicated year-season to be a significant effect.

2.4.2 Descriptive Statistics

Descriptive statistics for individual records and CG are presented in Table 1 and Table 2, respectively.

Table 1. Descriptive statistics of days at first calving records.

Days at first calving (days)	N	Mean	Min.	Max.	SD
Calving records	809	296	247	381	24
Calving records + penalized records	1348	323	247	402	41

The phenotypic average calving success was 0.60 for first calving opportunity. This is in accordance with national averages of weaned calves described above. National results in Angus cattle from Urioste et al. (2007) show a mean of 86.3 % success in the first calving opportunity, and a mean of 36 days in a range from 1 to 139 days and an SD of 28 for days from the beginning of a herd's calving season (instead of beginning of mating) to the cow's calving date. Mercadante et al. (2003), evaluating the first mating in Nelore cattle, obtained a mean of 350 days and SD of 34 for days to calving using the same definition and including non calvers with the same penalization method of this work, and 0.73 for calving success. Ponzoni and Gifford (1994), in a multi breed Australian study, obtained a mean for days to calving of 302

days in a range of 258 to 380 and a SD of 18.6 when non calvers were excluded, and a mean for calving success of 0.89.

Table 2. Contemporary group phenotypic means for days at first calving and first calving success traits.

CONTEMPORARY GROUP PHENOTYPIC MEANS				
	Mean	SD	Min	Max
DC	318	21	283	362
CS	0.60	0.21	0.06	0.91

2.4.3 Univariate Analysis

Estimates of variance components and genetic parameters for the linear and threshold linear analysis for DC and CS, respectively, are presented in Table 3.

Table 3. Posterior means, posterior standard deviation, and highest posterior density of variance components and genetic parameters for days at first calving and first calving success in univariate analysis.

	Mean	PSD	HPD 95 %	
			min.	max.
DAYS AT FIRST CALVING				
Additive sire genetic variance	34.73	13.24	13.47	61.09
Residual variance	1322	53	1225	1430
h^{2*}	0.10	0.04	0.04	0.18
FIRST CALVING SUCCESS				
Additive sire genetic variance	0.005	0.004	0.001	0.013

Residual variance	1.0	0.0	1.0	1.0
h^{2*}	0.021	0.017	0.003	0.053

PSD = Posterior standard deviation, HPD = Highest posterior density, min. = Minimum, max. = Maximum, h² = Heritability, h^{2*} = Additive sire genetic variance times 4 divided the sum of additive sire genetic variance and residual variance.

Heritabilities estimated for both traits were low, but within results from other studies. DC estimated heritability mean was 0.10, with a PSD of 0.04. Johnston and Bunter (1996) obtained the same heritability estimation of 0.10 (SE 0.04) in calving days for first calving, working with Angus breed and with the same 21 day penalty method, and Morris et al. (2000) reported very similar heritability of 0.09 (SE 0.036) in Angus cows not including non calvers. Meyer et al. (1990) estimated a similar but lower h² of 0.08 for this trait in Angus cows, including non calver with a different penalization method. Mercadante et al. (2003) also obtained a heritability estimation for days to calving of the first mating of 0.08 (\pm 0.06) using Nelore cattle and a projected value adding 21 days from the highest value within each mating group for non calvers. Quite lower results were published by Donoghue et al. (2004), who estimated a h² of 0.06 for days to calving with a HPD 95 % interval from 0.04 to 0.08 in Angus heifers, using a different penalization method for non calvers. Other authors report slightly different results; Morris and Cullen (1994) reported a lower h² estimation of 0.04 (SE 0.09) for the average calving date from 2 to 6 years of age, and Gutiérrez et al. (2002) obtained a higher h² of 0.21 (SE 0.015) in the Asturiana de los Valles breed with no penalty scores.

Estimated heritability mean for CS was 0.02, with a PSD of 0.017. Meyer et al. (1990) obtained similar results of estimated heritability of 0.02 for calving success in Angus cows, without adjustments for the categorical nature of the trait. Donoghue et al. (2004) also estimated a similar heritability of 0.03 for calving success with a HPD 95 % interval from 0.01 to 0.05 in Angus heifers, using a threshold-linear bivariate analysis. Mercadante et al. (2003) obtained a quite higher heritability estimate for calving success of first mating of 0.04 (\pm

0.06) in Nelore cattle from a single-trait analysis. Johnston and Bunter (1996) obtained a higher and more distant heritability estimation of 0.11 for calving success for their youngest Angus age group, using a bivariate analysis without any adjustment for the categorical nature of the trait.

There are two previous studies that estimated heritabilities for the Uruguayan Angus population, using traditional registration data. First calving opportunity in Angus cattle in a multivariate analysis by Urioste et al. (2007) estimated h^2 of 0.30 (SD 0.05) for calving day using the same penalty method, and 0.42 (SD 0.06) for calving success. Those results differ from the ones presented in this analysis possibly due to the assumptions needed to fill in the gaps in the information used. More similar results were obtained from Larracharte (2018), who estimated a h^2 of 0.07 (HPD Interval 0.04:0.11) for days at first calving, considering only females who calved. Both national studies highlight the importance to estimate genetic parameters using data from a national total herd reporting system.

Low heritabilities indicate a strong environmental influence on the phenotypes of the traits. However, heritabilities are different from zero, showing genetic progress is possible. Although slow, genetic response to selection is expected considering these results.

2.4.4 Bivariate Analysis

(Co)variance estimates and genetic parameters for both traits from the bivariate analysis are presented in Table 4.

Table 4. Posterior means and posterior standard deviation of covariances components and genetic parameters for days at first calving and first calving success in bivariate analysis.

	Mean	PSD	HPD 95%	
			min.	max.
Additive genetic covariance	-0.20	0.21	-0.62	0.09
Residual covariance	-35.3	0.76	-36.8	-33.8
Genetic correlation	-0.39	0.26	-0.85	0.11
DC h^{2*}	0.07	0.027	0.030	0.128
CS h^{2*}	0.03	0.022	0.005	0.075

PSD = Posterior standard deviation, HPD = Highest posterior density, min.= Minimum, max. = Maximum, h² = Heritability, h^{2*} = Additive sire genetic variance times 4 divided the sum of additive sire genetic variance and residual variance.

The bivariate analysis rendered similar estimations of heritability to the univariate analysis for both traits, and a negative and moderate genetic correlation mean of -0.39 between DC and CS. However, it should be noted that HPD intervals for genetic correlation include zero. Donoghue et al. (2004) estimated a stronger genetic correlation between days to calving and calving success of -0.73 (SD 0.06) within an HPD interval 95 % from -0.91 to -0.45, using a threshold-linear bivariate analysis in Angus heifers as well. Johnston and Bunter (1996) also obtained an even stronger and negative genetic correlation between days to calving and calving success of -0.97 in the youngest category of Angus cattle, but with high standard errors and without considering the binary nature of calving success. National estimations of genetic correlation between days to calving (failed cows interpreted as missing records) and calving success in the first calving opportunity of Angus cattle was -0.70 (SD 0.08) by Urioste et al. (2007), higher than the ones in this study. However, results of Urioste et al. (2007) may reflect the limitations of data quality named above. This weaker genetic correlation obtained in this study could be associated to the low number of records available as well.

Genetic correlation mean obtained between days at first calving and first calving success suggests that heifers that conceive earlier are more probable to succeed in their calving. From a selection point of view, this correlation indicates that it is possible to select for one trait and have a genetic progress in the other one. Considering the heritabilities estimates obtained, it could be recommended to select directly from the trait with highest h^2 days at first calving, which would also have a consequent genetic progress in calving success (with lower h^2) in an indirect way.

Once limitation of number of second subsequent mating of females is lifted, it would be interesting to estimate correlation between days at first calving and second calving success, considering success at the second mating is the most problematic mating in Uruguay.

Ponzoni (1992) compared calving day and calving rate (conceptually the same variable as calving success in this work) as the most suitable traits for genetic improvement in beef cattle reproduction. He concluded that, from a genetic point of view, the difference between using one or the other would be small compared to the effect of ignoring reproduction, and that the choice could be influenced by non-genetic considerations such as degree of understanding and acceptance by breeders and incorporation on recording systems. Meyer et al. (1990) concluded that days to calving appeared to be the most suitable trait among the ones investigated to be incorporated into a genetic evaluation in Breedplan (Australia). That is, in part, because of the genetic variation found and the possibility of including non-calvers when evaluating this trait. Besides, days at first calving has the advantage over calving success of distinguishing early and late calvers.

2.4.5 Overall Discussion

Genetic progress may be slow, but these changes are permanent and accumulative in time, so efforts should be made to start as soon as possible in this path.

It is of vital importance that more breeders incorporate the habit of registering reproductive and productive information constantly. Limitations found in data quantity could be lifted by the breeder's commitment on registration, and over the years due to accumulation of information.

2.5 CONCLUSION

National reproductive performance information allows genetic variance estimation of days at first calving and first calving success. Genetic parameters estimated with such information show a heritability mean of 0.10 for days at first calving and 0.02 for calving success, and a mean genetic correlation of -0.39. These results indicate that it is possible to include reproductive traits in national genetic evaluations of beef cattle.

Days at first calving seems to be an appropriate trait to be included in national genetic evaluations considering heritabilities estimated. Selection on reduced days at first calving would genetically improve this trait in a direct way and calving success indirectly due to a favourable moderate genetic correlation between them.

2.6 DECLARATIONS OF INTEREST

None of the authors have financial or personal relationship that could influence the content of this paper.

2.7 ACKNOWLEDGMENTS

We gratefully acknowledge Aberdeen Angus breeders and Asociación Rural del Uruguay (ARU) for providing the data for this study. This work was supported by Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).

2.8 REFERENCES

Aguilar, I., Ravagnolo, O., Pravia, M., Ciappesoni, G., 2005. Mejoramiento genético. In: Revista Asociación Rural del Uruguay. pp 50–53. [On line] Available in: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/13433/1/ara->

68.pdf. Last visit: 28/07/2022.

Bourdon, R.M., Brinks, J.S., 1983. Calving date versus calving interval as a reproductive measure in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 57, 1412–1417. <https://doi.org/https://doi.org/10.2527/jas1983.5761412x>

Cammack, K.M., Thomas, M.G., Enns, R.M., 2009. Reproductive Traits and Their Heritabilities in Beef Cattle. *Prof. Anim. Sci.* 25, 517–528. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30753-1](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30753-1)

DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2003. La ganadería en Uruguay Contribución a su conocimiento. Montevideo: MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). 87 p.

DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2019. In: Anuario estadístico agropecuario 2019. Montevideo: MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). 255 p.

Donoghue, K.A., Rekaya, R., Bertrand, J.K., Misztal, I., 2004. Threshold-linear analysis of measures of fertility in artificial insemination data and days to calving in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 82, 987–993. <https://doi.org/10.2527/2004.824987x>

Donoghue, K.A., 2006. Genetic Evaluation of Female Reproductive Performance. 12 p. [On line]. Available in: http://www.bifconference.com/bif2002/Baker_Essay_pdfs/Donoghue_02BIF.pdf Last visit: 28/07/2022.

Gutiérrez, J.P., Alvarez, I., Fernández, I., Royo, L.J., Díez, J., Goyache, F., 2002. Genetic relationships between calving date, calving interval, age at first calving and type traits in beef cattle. *Livest. Prod. Sci.* 78, 215–222. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00100-8](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00100-8)

Johnston, D.J., Bunter, K.L., 1996. Days to calving in Angus cattle: Genetic and environmental effects, and covariances with other traits. *Livest. Prod. Sci.* 45, 13–22. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(95\)00088-7](https://doi.org/10.1016/0301-6226(95)00088-7)

- Larracharte, A., 2018. Heredabilidades y correlaciones entre características de longevidad y reproducción en ganado Aberdeen Angus de Uruguay. MSc. Thesis. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 60 p.
- Lema, O.M., Ravagnolo, O., Soares de Lima, J.M., 2013. Avances en herramientas de selección para la cría: peso adulto, características reproductivas e índices de selección. Semin. Actual. técnica Cría Vacuna 27–34.
- Mercadante, M.E.Z., Packer, I.U., Razook, A.G., Cyrillo, J.N.S.G., Figueiredo, L.A., 2003. Direct and correlated responses to selection for yearling weight on reproductive performance of Nelore cows. J. Anim. Sci. 81, 376–384. <https://doi.org/10.2527/2003.812376x>
- Meyer, K., Hammond, K., Parnell, P.F., MacKinnon, M.J., Sivarajasingam, S., 1990. Estimates of heritability and repeatability for reproductive traits in Australian beef cattle. Livest. Prod. Sci. 25, 15–30. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(90\)90038-8](https://doi.org/10.1016/0301-6226(90)90038-8)
- MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca) - OPYPA (Oficina de Política y Planificación Agropecuaria). 2018. Resultados de la encuesta Ganadera Nacional 2016. 62 p. [On line] Available in: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/resultados-encuesta-ganadera-nacional-2016> Last visit: 28/07/2022.
- Misztal, I., Tsuruta, S., Lourenco, D., Aguilar, I., Legarra, A., Vitezica, Z., 2014. Manual for BLUPF90 family of programs, Athens, USA. 125 p. [On line]. Available in: http://nce.ads.uga.edu/wiki/lib/exe/fetch.php?media=blupf90_all2.pdf Last visit: 28/07/2022.
- Morris, C.A., Cullen, N.G., 1994. A note on genetic correlations between pubertal traits of males or females and lifetime pregnancy rate in beef cattle. Livest. Prod. Sci. 39, 291–297.

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0301-6226\(94\)90291-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0301-6226(94)90291-7)

Morris, C.A., Wilson, J.A., Bennett, G.L., Cullen, N.G., Hickey, S.M., Hunter, J.C., 2000. Genetic parameters for growth, puberty, and beef cow reproductive traits in a puberty selection experiment. *New Zeal. J. Agric. Res.* 43, 83–91. <https://doi.org/10.1080/00288233.2000.9513411>

Ponzoni, R.W., 1992. Which trait for genetic improvement of beef cattle reproduction: calving rate or calving day? *J. Anim. Breed. Genet.* 109, 119–128. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.1992.tb00386.x>

Ponzoni, R.W., Gifford, D.R., 1994. Reproductive and some peri-natal variables in a mixed breed beef cattle herd. *J. Anim. Breed. Genet.* 111, 52–64. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.1994.tb00437.x>

Pravia, M.I., Ravagnolo, O., Urioste, J.I., Garrick, D.J., 2014. Identification of breeding objectives using a bioeconomic model for a beef cattle production system in Uruguay. *Livest. Sci.* 160, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.12.006>

R Core Team, 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

Rust, T., Groeneveld, E., 2001. Variance component estimation on female fertility traits in beef cattle. *South African J. Anim. Sci.* 31, 131-141.

SAS Institute Inc., 2014. SAS/STAT® 13.2 User's Guide: High-Performance Procedures. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Urioste, J.I., Ponzoni, R.W., Aguirrezabala, M., Rovere, G., Saavedra, D., 1998. Breeding Objectives for pasture-fed Uruguayan Beef Cattle. *J. Anim. Breed. Genet.* 115, 357–373.

Urioste, J.I., Misztal, I., Bertrand, J.K., 2007. Fertility traits in spring-calving Aberdeen Angus cattle. 1. Model development and genetic parameters. *J.*

Anim. Sci. 85, 2854–2860. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-549>

Urioste, J., 2008. Selección y reproducción en bovinos de carne. In: INIA Seminario de Actualización Técnica: Cría Vacuna. pp. 11–24.

3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

Mantener altas tasas reproductivas es un factor importante para la rentabilidad en los sistemas ganaderos nacionales. Si bien brindar un buen ambiente productivo es vital para el éxito en la reproducción, acompañar el manejo con una selección genética en el mismo sentido ayudaría a mejorar el desempeño reproductivo potencial del rodeo. Los resultados obtenidos en este trabajo permiten comenzar un nuevo camino en dirección a un mejoramiento genético en características reproductivas. El uso de información RTR a través del software SRGen ayuda a estimar parámetros genéticos nacionales más confiables para estas características.

Dados los intervalos HPD obtenidos, diferentes alternativas fueron probadas en busca de una estimación de componentes de varianza más precisa: la exclusión de los datos de inseminación artificial a tiempo fijo, excluir los GC *outliers*, considerar GC como un efecto aleatorio, considerar edad al servicio como una variable clasificatoria, incluir todos los registros de primeros servicios sin tener en cuenta la edad de la hembra y modelar con modelo animal. Ninguna de estas alternativas tuvo resultados más precisos que los obtenidos en el presente trabajo.

Teniendo en cuenta los parámetros genéticos estimados, es posible la inclusión de estas características en las evaluaciones genéticas nacionales, principalmente la característica días al primer parto. Días al primer parto presenta una mayor heredabilidad, está genéticamente correlacionada con éxito al parto de forma favorable y presenta la ventaja de que distingue entre aquellas hembras que tienen partos más tempranos. Seleccionar por días al primer parto implicaría mejorar directamente esta característica e indirectamente, aquellas hembras que presentan éxito al primer parto. La inclusión en las evaluaciones genéticas nacionales permitiría a los productores seleccionar aquellos animales que permitan mejorar genéticamente estas características y, de esta forma, el rendimiento actual en

los sistemas ganaderos típicos nacionales. La selección a través de DEP para las características reproductivas permitiría un progreso genético lento, pero muy valioso tanto para rodeos de registro como comerciales. La combinación de buenas prácticas de manejo que brinden un ambiente adecuado junto con un programa de mejora genética en el mismo sentido le brindará a los productores las herramientas adecuadas para tener un buen desempeño reproductivo en sus rodeos.

Mejorar genéticamente a las vaquillonas de forma de promover un sistema productivo distinto a la media nacional, como adelantar la edad al primer entore, implicaría un estudio detallado de conveniencia frente a los nuevos costos y beneficios, lo que escapa a los objetivos de este estudio.

Sería interesante, una vez que se cuente con la cantidad de información necesaria, estimar la correlación genética entre días al parto en las distintas oportunidades de parto de una misma hembra. Una muy alta correlación entre los registros de diferentes oportunidades de parto podría indicar que pueden ser considerados registros repetidos de la misma característica, lo cual permitiría incluir más información en la estimación en busca de estimaciones más precisas, utilizando un modelo de medidas repetidas. Esta información también permitiría buscar soluciones a los problemas reproductivos en la categoría de segundo servicio que se presentan a nivel nacional. Otro análisis interesante a realizar cuando se cuente con mayor cantidad de datos sería estimar la correlación genética entre circunferencia escrotal de los padres y alguna característica de precocidad reproductiva en sus hijas. Los diferentes resultados obtenidos en la bibliografía en cuanto a esta relación hacen necesaria una estimación que refleje la actual correlación genética de ambas características en nuestros rodeos, mediante un adecuado modelo estadístico y una correcta base de datos.

4. BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Aguilar I, Ravagnolo O, Pravia M, Ciappesoni G. 2005. Mejoramiento genético. En: Revista Asociación Rural del Uruguay. pp 50–53. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/13433/1/ara-68.pdf>. Última visita: 28/07/2022.
- Arije GF, Wiltbank, JN. 1971. Age and weight at puberty in hereford heifers. *Journal of Animal Science*. 33, 401–406. <https://doi.org/10.2527/jas1971.332401x>
- Berry DP, Wall E, Pryce JE. 2014. Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle. *Animal* 8, 105–121. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000743>
- Boldt RJ, Speidel SE, Thomas MG, Enns RM. 2018. Genetic parameters for fertility and production traits in Red Angus cattle. *Journal of Animal Science*. 96, 4100–4111. <https://doi.org/10.1093/jas/sky294>
- Bourdon R.M. 2000. *Understanding animal breeding*, second. ed. Prentice Hall. 538 p.
- Bourdon R.M., Brinks JS. 1983. Calving date versus calving interval as a reproductive measure in beef cattle. *Journal of Animal Science*. 57, 1412–1417. <https://doi.org/https://doi.org/10.2527/jas1983.5761412x>
- Bourdon RM, Brinks JS. 1982. Genetic , Environmental and Phenotypic Relationships among Gestation Length , Birth Weight , Growth Traits and Age at First Calving in Beef Cattle R . M . Bourdon and J . S . Brinks The online version of this article , along with updated information and s. *Journal of Animal Science*. 55, 543–553.
- Buddenberg BJ, Brown CJ, Brown AH. 1990. Heritability estimates of calving date in Hereford cattle maintained on range under natural mating. *Journal of Animal Science*. 68, 70–74. <https://doi.org/10.2527/1990.68170x>

- Bullock D. 2014. Genetic Practices to Improve Beef Cattle Reproduction 2011–2013. [En línea]. Disponible en: https://beef-cattle.extension.org/wp-content/uploads/2019/09/4_Genetic-Practices-to-Improve-Beef-Cattle-Reproduction_Arial_0.pdf. Última visita: 28/07/2022
- Cammack KM, Thomas MG, Enns RM. 2009. Reproductive Traits and Their Heritabilities in Beef Cattle. *The Professional Animal Science*. 25, 517–528. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30753-1](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30753-1)
- Cardellino R, Rovira J. 1987. Mejoramiento genético animal. Montevideo: Hemisferio Sur. 253 p.
- Ciappesoni G, Goldberg V. 2012. Selección genómica en ovinos: ¿moda pasajera o nuevo paradigma?
- Dákay I, Márton D, Bene S, Kiss B, Zsuppán Z, Szabó F. 2006. The age at first calving and the longevity of beef cows in Hungary. *Archiv für Tierzucht*. 49, 417–425.
- Darwash AO, Lamming GE, Woolliams JA. 1997. Estimation of Genetic Variation in the Interval from Calving to Postpartum Ovulation of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*. 80, 1227–1234. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76051-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76051-X)
- Díaz C, Chirinos A, Moreno A, Carabaño MJ. 2002. Preliminary analysis of functional longevity in the avileña negra ibérica beef cattle breed. En: *World Congress on Genetic Applied to Livestock Production. Communication (7th., 2002, Montpellier, France)*. Breeding ruminants for meat production. Montpellier, France. p 1-4.
- DIEA (Dirección de Estadísticas Agropecuarias). 2019. En: *Anuario estadístico agropecuario 2019*. Montevideo: MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca). 255 p.
- Donoghue KA. 2006. Genetic Evaluation of Female Reproductive Performance. 12 p. [En línea]. Disponible en:

http://www.bifconference.com/bif2002/Baker_Essay_pdfs/Donoghue_02BIF.pdf Último acceso: 28/07/2022.

Donoghue KA, Rekaya R, Bertrand JK, Misztal I. 2004. Threshold-linear analysis of measures of fertility in artificial insemination data and days to calving in beef cattle. *Journal of Animal Science*. 82, 987–993. <https://doi.org/10.2527/2004.824987x>

Doyle SP, Golden BL, Green RD, Brinks JS. 2000. Additive genetic parameter estimates for heifer pregnancy and subsequent reproduction in Angus females. *Journal of Animal Science*. 78, 2091–2098. <https://doi.org/10.2527/2000.7882091x>

Dziuk PJ, Bellows RA. 1983. Management of reproduction of beef cattle, sheep and pigs. *Journal of Animal Science*. 57, 355–379. https://doi.org/https://doi.org/10.2527/animalsci1983.57Supplement_2355x

Eler JP, Silva JAll V, Ferraz, JBS, Días F, Oliveira HN, Evans JL, Golden BL. 2002. Genetic evaluation of the probability of pregnancy at 14 months for Nellore heifers. *Journal of Animal Science*. 80, 951–954. <https://doi.org/https://doi.org/10.2527/2002.804951x>

Evans JL, Golden BL, Bourdon RM, Long KL. 1999. Additive genetic relationships between heifer pregnancy and scrotal circumference in Hereford cattle. *Journal of Animal Science*. 77, 2621. <https://doi.org/10.2527/1999.77102621x>

Falconer DS. 1981. *Introducción a la genética cuantitativa*. México: Continental. 430 p.

Fernández Abella D. 1995. *Temas de reproducción ovina e inseminación artificial en bovinos y ovinos*, Ed. Universidad de la República, Montevideo. 206 p.

Forabosco F. 2005. *Breeding for longevity in Italian Chianina cattle*. Doctoral

- thesis. Wageningen, The Netherlands. Wageningen University, 162 p
- Garrick D. 2005. Trends and developments in genetic evaluation of beef cattle in the United States. Pag 24 -31. En: 9th World Angus Forum Technical Meet. Angus in the Global Market. American Angus Association, Kansas City, MO.
- Gianola D, Fernando RL. 1986. Bayesian Methods in animal Breeding Theory. Journal of Animal Science. 63, 217–244.
- Gimeno D, Berretta E, Severino R, De Mattos D, Secco M. 2002. Rasgos productivos y reproductivos de hembras cruza. Seminario de Actualización Técnica: Cruzamientos en bovinos para carne. INIA Tacuarembó. Uruguay. 87 pág.
- Graser HU, Tier B, Johnston DJ, Barwick, SA. 2005. Genetic evaluation for the beef industry in Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture. 45, 913–921. <https://doi.org/10.1071/EA05075>
- Groen AF. 1999. Breeding goal definition. ICAR Technical series N°3. Developing Breeding Strategies for Lower Input Animal Production Environments. p 25.
- Gutiérrez JP, Alvarez I, Fernández I, Royo LJ, Díez J, Goyache F. 2002. Genetic relationships between calving date, calving interval, age at first calving and type traits in beef cattle. Livestock Production Science. 78, 215–222. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00100-8](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00100-8)
- Harris D, Stewart T, Arboleda C. 1984. Animal breeding programs : systematic approach to their design. USDA-ARS. Advances in Agricultural Technology. Central Region 8.14 p.
- Hudson GFS, Van Vleck LD. 1981. Relationship Between Production and Stayability in Holstein Cattle. Journal of Dairy Science. 64, 2246–2250. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(81\)82836-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(81)82836-6)

- Johnston DJ. 2014. Genetic Improvement of Reproduction in Beef Cattle. 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production. pp. 1-6.
- Johnston DJ, Henshall JM, Tier B. 2001. Estimate of the genetic correlation between calving success and days to calving in angus females. Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics 14, 353–356.
- Johnston DJ, Bunter KL. 1996. Days to calving in Angus cattle: Genetic and environmental effects, and covariances with other traits. Livestock Production Science. 45, 13–22. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(95\)00088-7](https://doi.org/10.1016/0301-6226(95)00088-7)
- Koots K, Gibson J, Smith C, Wilton J. 1994a. Analyses of published genetic parameter estimates for beef production traits 1. Heritability. Animal Breeding Abstract. 62, 309–338.
- Koots KR, Gibson JP, Wilton JW. 1994b. Analyses of published genetic parameter estimates for beef production traits. 2. Phenotypic and genetic correlations. Animal Breeding Abstract. 62, 825-853.
- Larracharte A. 2018. Heredabilidades y correlaciones entre características de longevidad y reproducción en ganado Aberdeen Angus de Uruguay. Tesis MSc. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 60 p.
- Lema M, Ravagnolo O, Soares de Lima, JM. 2013. Avances en herramientas de selección para la cría: peso adulto, características reproductivas e índices de selección. En: INIA Seminario de Actualización técnica. Cría Vacuna. pp. 27–34.
- Lema M, Ravagnolo O. 2008. Reporte total del rodeo: una nueva etapa de las evaluaciones genéticas de bovinos para carne. En: INIA Seminario de Actualización Técnica: Cría Vacuna. pp. 40–46.
- Martínez-Velázquez G, Gregory KE, Bennett GL, Van Vleck LD. 2003. Genetic relationships between scrotal circumference and female reproductive

traits. *Journal of Animal Science*. 81, 395–401.
<https://doi.org/10.2527/2003.812395x>

Mcallister CM, Speidel SE, Crews JH, Enns RM. 2011. Genetic parameters for intramuscular fat percentage, marbling score, scrotal circumference, and heifer pregnancy in Red Angus cattle. *Journal of Animal Science*. 89, 2068–2072. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3538>

Melton BE. 1995. Conception to Consumption: The economics of genetic improvement. Beef Improvement Federation 27th Research Symposium and 50 Annual Meeting, 31-3, May-June, Sheridan, United States, P-40.

Mercadante MEZ, Packer, IU, Razook AG, Cyrillo JNSG, Figueiredo LA, 2003. Direct and correlated responses to selection for yearling weight on reproductive performance of Nelore cows. *Journal of Animal Science*. 81, 376–384. <https://doi.org/10.2527/2003.812376x>

Meyer K, Hammond K, Parnell PF, MacKinnon MJ, Sivarajasingam S. 1990. Estimates of heritability and repeatability for reproductive traits in Australian beef cattle. *Livestock Production Science*. 25, 15–30. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(90\)90038-8](https://doi.org/10.1016/0301-6226(90)90038-8)

MGAP (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca) - OPYPA (Oficina de Política y Planificación Agropecuaria). 2018. Resultados de la encuesta Ganadera Nacional 2016. 62 p. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/resultados-encuesta-ganadera-nacional-2016>
Ultimo acceso: 28/07/2022.

Minick Bormann J, Totir LR, Kachman SD, Fernando RL, Wilson DE. 2006. Pregnancy rate and first-service conception rate in Angus heifers. *Journal of Animal Science*. 84, 2022–2025. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-615>

Misztal I. 2008. Reliable computing in estimation of variance components. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 125, 363–370.

<https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.2008.00774.x>

- Morris CA, Wilson JA, Bennett GL, Cullen NG, Hickey SM, Hunter JC. 2000. Genetic parameters for growth, puberty, and beef cow reproductive traits in a puberty selection experiment. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 43, 83–91. <https://doi.org/10.1080/00288233.2000.9513411>
- Morris CA, Cullen NG. 1994. A note on genetic correlations between pubertal traits of males or females and lifetime pregnancy rate in beef cattle. *Livestock Production Science*. 39, 291–297. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0301-6226\(94\)90291-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0301-6226(94)90291-7)
- Mrode RA. 2005. *Linear models for the prediction of animal breeding values*. Second. ed. Wallingford: CABI. 344 p.
- Notter DR. 1988. Evaluating and reporting reproductive traits. En: *Beef Improvement Federation 20th Reserch Symposium and Annual Meeting*. pp. 21–42.
- Phocas F, Bloch C, Chapelle P, Bécherel F, Renand G, Ménissier F. 1998. Developing a breeding objective for a French purebred beef cattle selection programme. *Livestock Production Science*. 57, 49–65. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00157-2](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00157-2)
- Ponzoni RW. 1992a. Seminario sobre mejoramiento genetico en lanares. Montevideo, pp. 119–133.
- Ponzoni RW. 1992b. Which trait for genetic improvement of beef cattle reproduction: calving rate or calving day? *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 109, 119–128. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0388.1992.tb00386.x>
- Ponzoni RW, Newman S. 1989. Developing breeding objectives for australian beef cattle production. *Animial Production Science*. 49, 35–47. <https://doi.org/10.1017/S0003356100004232>

- Pravia MI, Ravagnolo O, Urioste JI, Garrick DJ. 2014. Identification of breeding objectives using a bioeconomic model for a beef cattle production system in Uruguay. *Livestock Science*. 160, 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.12.006>
- Quintans G. 2010. Alternativas de manejo reproductivo del rodeo de cría vacuna en Uruguay. *Agrociencia Uruguay* 14, 59. <https://doi.org/10.31285/agro.14.702>
- Quintans G. 2008a. Genética y fertilidad: transitando un camino común. En: *Seminario Actualización Técnica: Cría Vacuna*.
- Quintans G. 2008b. La alternativa para incrementar la tasa de procreo: disminución del anestro posparto. En: *Seminario Actualización Técnica: Cría Vacuna*.
- Quintans G, Roig G. 2008. Principales factores que afectan la aparición de la pubertad en vaquillonas de razas carniceras. En: *Seminario de Actualización Técnica: Cría Vacuna*.
- Ravagnolo O, Lema M, Aguilar I, Calistro S. 2011. Ayudas para manejar la información. *Información de padres Hereford 2011*. 219–223.
- Rege JEO, Famula TR. 1993. Factors affecting calving date and its relationship with production traits of Hereford dams. *Animal Production Science*. 385–395.
- Rovira J. 2008. Manejo nutritivo de los rodeos de cría en pastoreo. Montevideo: Hemisferio Sur. 288 p
- Rovira J. 1974. Reproducción y manejo de los rodeos de cría. Montevideo: Hemisferio Sur. 293 p.
- Royal MD, Pryce JE, Woolliams JA, Flint APF. 2002. The genetic relationship between commencement of luteal activity and calving interval, body condition score, production, and linear type traits in holstein-friesian dairy

cattle. *Journal of Dairy Science*. 85, 3071–3080.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74394-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74394-4)

Rust T, Groeneveld E. 2001. Variance component estimation on female fertility traits in beef cattle. *South African Journal of Animal Science*. 31, 131-141.

Schaeffer LR. 2019. *Animal models*. Auto-publicado. 381 p. [En línea]. Disponible en: <https://animalbiosciences.uoguelph.ca/~lrs/BOOKS/AMTAP.pdf> Último acceso: 28/07/2022.

Schaeffer LR. 2010. *Linear Models and Animal Breeding*. Guelph, En: Centre for Genetic Improvement of Livestock, Department of Animal and Poultry Science, University of Guelph. 314 p.

Short RE, Bellows RA, Staigmiller RB, Berardinelli JG, Custer EE. 1990. Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *Journal of Animal Science*. 68, 799–816.
<https://doi.org/10.2527/1990.683799x>

Short RE, Bellows RA, Moody EL, Howland BE. 1972. Effects of Suckling and Mastectomy on Bovine Postpartum Reproduction. *Journal of Animal Science*. 34, 70–74.

Smith BA, Brinks JS, Richardson GV. 1989. Estimation of genetic parameters among reproductive and growth traits in yearling heifers. *Journal of Animal Science*. 67, 2886-2891.

Soares de Lima JM, Montossi F, Lagomarsino X. 2017. Análisis de la lógica empresarial del engorde de vacas en los sistemas de cría bovina del Uruguay. INIA Serie Técnica 236. Capítulo V Cría bovina del Uruguay. 91–97.

Soares de Lima JM, Montossi F. 2012. La cría vacuna en la nueva realidad ganadera: análisis y propuestas de INIA. *Revista INIA* 31, 6–10.

- Timpani VD, Costa do Nascimento TE. 2015. Uma Breve Introdução à Estatística Bayesiana Aplicada ao Melhoramento Genético Animal. Belém: Documentos- Embrapa Amazonia Oriental. 412. 59 p.
- Ungerfeld R. 2020. Reproducción de los animales domésticos. Zaragoza: Edra. 256 p.
- Urioste J. 2008. Selección y reproducción en bovinos de carne. En: INIA Seminario de Actualización Técnica: Cría Vacuna. pp. 11–24.
- Urioste J, Misztal I, Bertrand JK. 2007. Fertility traits in spring-calving Aberdeen Angus cattle. 1. Model development and genetic parameters. *Journal of Animal Science*. 85, 2854–2860. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-549>
- Urioste J, Ponzoni RW, Aguirrezabala M, Rovere G, Saavedra D. 1998. Breeding Objectives for pasture-fed Uruguayan Beef Cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics*. 115, 357–373.
- Van Der Westhuizen RR, Schoeman SJ, Jordaan GF, Van Wyk JB. 2001. Heritability estimates derived from threshold analyses for reproduction and stayability traits in a beef cattle herd. *South African Journal of Animal Science*. 31, 25–32. <https://doi.org/10.4314/sajas.v31i1.3844>