

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**HEREDABILIDADES Y CORRELACIONES ENTRE CARACTERÍSTICAS DE LONGEVIDAD  
Y REPRODUCCIÓN EN GANADO ABERDEEN ANGUS DE URUGUAY**

por

**Andrea LARRACHARTE CARDOSO**

TESIS presentada como uno  
de los requisitos para  
obtener el título de Magister  
en Ciencias Agrarias opción  
Ciencia Animal

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
diciembre 2018**

Tesis aprobada por el tribunal integrado por el Dr. Fernando Baldi, el Dr. Hugo Naya y el Dr. Ignacio Aguilar el 18 de diciembre de 2018. Autora: Ing. Agr. Andrea Larracharte Cardoso.  
Director Dr. Jorge I. Urioste, Co-director Dra. Ana Espasandin.

## TABLA DE CONTENIDO

	página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
RESUMEN.....	V
SUMMARY.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
1.1 LONGEVIDAD EN GANADO DE CARNE .....	4
1.1.1 <u>Definiciones de longevidad</u> .....	4
1.1.1.1 Duración de vida productiva .....	5
1.1.1.2 Habilidad de permanencia .....	6
1.2 MODELOS DE ANÁLISIS UTILIZADOS PARA EVALUAR CARACTERÍSTICAS DE LONGEVIDAD .....	7
1.2.1 <u>Modelo animal</u> .....	8
1.2.2 <u>Modelo umbral</u> .....	8
1.2.3 <u>Modelo de sobrevivencia</u> .....	9
1.3 PARÁMETROS GENÉTICOS EN CARACTERÍSTICAS DE LONGEVIDAD .....	10
1.3.1 <u>Heredabilidades</u> .....	10
1.3.2 <u>Correlaciones genéticas</u> .....	12
1.4 <u>HIPÓTESIS</u> .....	16
1.5 <u>OBJETIVOS</u> .....	16
2. <u>ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS EN CARACTERÍSTICAS DE LONGEVIDAD Y REPRODUCTIVAS EN GANADO ABERDEEN ANGUS EN URUGUAY</u> .....	18
2.1 RESUMEN .....	18
2.2 SUMMARY .....	19
2.3 INTRODUCCIÓN .....	20
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS .....	21
2.4.1 <u>Datos</u> .....	21
2.4.2 <u>Edición de datos</u> .....	22
2.4.3 <u>Caracterización de la base de datos</u> .....	23
2.4.4 <u>Variables analizadas</u> .....	25
2.4.4.1 Variables de longevidad.....	25
2.4.4.2 Variables reproductivas .....	25
2.4.5 <u>Análisis estadístico</u> .....	25
2.4.5.1 Modelo estadístico.....	26
2.4.5.2 Implementación .....	27
2.4.6 <u>Evaluación de consecuencias genéticas de la selección</u> .....	28
2.5 RESULTADOS .....	29
2.5.1 <u>Estadística descriptiva</u> .....	29
2.5.2 <u>Análisis estadístico</u> .....	29
2.5.3 <u>Evaluación de consecuencias genéticas a la selección</u> .....	31
2.6 DISCUSIÓN .....	33
2.6.1 <u>Rasgos de longevidad</u> .....	34
2.6.2 <u>Rasgos reproductivos</u> .....	35

2.6.3 <u>Asociación entre rasgos de longevidad y reproductivos</u> .....	36
2.6.4 <u>Respuesta a la selección por hp5, exito3 o preg2</u> .....	37
2.7 CONCLUSIONES .....	37
2.8 BIBLIOGRAFÍA .....	39
3. <u>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES</u> .....	43
4. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	48
5. <u>ANEXOS</u> .....	55

## RESUMEN

Las características de longevidad y reproducción tienen gran importancia en la eficiencia económica de los sistemas de producción de carne. El objetivo del presente estudio fue estimar parámetros genéticos en características de longevidad y reproducción, y evaluar posibles consecuencias en la selección. Se utilizaron registros de 10.517 vacas Aberdeen Angus incluidas en la base de datos poblacional, con un primer parto en primavera, nacidas entre 1975 y 2012, hijas de toros con 5 o más hijas (promedio: 15 hijas/toro), provenientes de rodeos con 25 o más observaciones, integrando grupos contemporáneos de 5 o más vacas. Las variables analizadas de longevidad fueron días de vida productiva (dvp) y habilidad de permanencia a los 5 años (hp5); y las reproductivas fueron días al primer parto (dias1), éxito de preñez al segundo parto (preg2), y éxito de tener tres partos consecutivos (exito3). Preg2, exito3 y hp5 se definieron como características binarias, y dias1 y dvp como continuas; a dvp se le realizó una transformación logarítmica. Se utilizó un modelo multicarácter, umbral-lineal, que incluyó efectos de grupo contemporáneo (rodeo y año de nacimiento), edad al primer parto (covariable), y efecto genético del animal, implementado con el programa THRIBBS1F90. Las estimaciones (media  $\pm$  desvío estándar *a posteriori*) de heredabilidad fueron  $0,07 \pm 0,03$  y  $0,11 \pm 0,05$  para dvp y hp5,  $0,07 \pm 0,02$ ,  $0,23 \pm 0,04$ , y  $0,24 \pm 0,04$  para dias1, exito3 y preg2, respectivamente. La correlación genética entre dvp y hp5 fue favorable y alta ( $+0,79 \pm 0,08$ ); y entre características reproductivas favorables y altas ( $-0,67 \pm 0,12$  entre dias1-exito3,  $-0,73 \pm 0,10$  entre dias1-preg2 y  $+0,83 \pm 0,05$  entre exito3-preg2). Las correlaciones entre longevidad y reproducción fueron variables, desde no diferentes de cero (dias1 con hp5 y dvp) a medias ( $+0,45 \pm 0,17$  entre hp5-exito3,  $+0,24 \pm 0,18$  entre exito3-dvp). Futuros estudios deberán explorar asociaciones con otras variables, y su eventual integración a programas de evaluación genética.

**Palabras clave:** días de vida productiva, habilidad de permanencia, partos consecutivos

## SUMMARY

Longevity and reproduction traits have proven to have great impact in the economic efficiency of beef cattle production systems. The objective of this study was to estimate genetic parameters of longevity and reproduction traits and to evaluate possible consequences in the process of selection. The poblational data base was built with records belonging to 10.517 Aberdeen Angus cows which had their first calving in spring, were born between 1975 and 2012, were daughters of bulls which had 5 or more daughters (average: 15 daughters per bull), belonging to herds with at least 25 observations and being part of contemporary groups of at least 5 cows. The longevity variables analyzed were days of productive life (dvp) and permanence ability at 5 years of age (hp5); and the reproductive ones were days to first calving (dias1), pregnancy successes at second calving (preg2) and success of three consecutive calvings (exito3). Preg2, exito3 and hp5 were defined as binary traits, on the other hand dias1 and dvp were defined as continual ones; dvp was transformed logarithmically. A multicharacter, umbral-linear model was used which included effects such as contemporary group (herd and year of birth), age at first calving (covariate), and animal genetic effect that was implemented with THRGIBBS1F90 program. Estimates (average  $\pm$  standard deviation *a posteriori*) of heritability were  $0,07\pm 0,03$  and  $0,11\pm 0,05$  for dvp and hp5,  $0,07\pm 0,02$ ,  $0,23\pm 0,04$ , and  $0,24\pm 0,04$  for dias1, exito3 and preg2, respectively. The genetic correlation between dvp and hp5 was high and favorable ( $+0,79\pm 0,08$ ); and between reproductive traits was also high and favorable ( $-0,67\pm 0,12$  between dias1-exito3,  $-0,73\pm 0,10$  between dias1-preg2 and  $+0,83\pm 0,05$  between exito3-preg2). Correlations between longevity and reproduction were variable, from non different from zero (dias1 with hp5 and dvp) to medium ( $+0,45\pm 0,17$  between hp5-exito3,  $+0,24\pm 0,18$  between exito3-dvp). Future studies will have to explore associations with other variables and their eventual integration to genetic evaluation programs.

**Key words:** days of productive life, permanence ability, consecutive calving

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción ganadera es una de las actividades económicas más importantes de nuestro país. Dentro del proceso de producción de carne, la cría vacuna es la actividad más importante del agro nacional en términos de número de explotaciones, cabezas de ganado y superficie ocupada. Según datos del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP. DIEA, 2017), en Uruguay existen 24052 predios criadores (51% del total de establecimientos ganaderos y agrícola-ganaderos), que ocupan una superficie de 7392 miles de hectáreas (49% del total de establecimientos ganaderos y agrícola-ganaderos), e incluyen un total de 8,8 millones de cabezas de ganado (vacas de cría, vaquillonas de más de dos años sin entorar, vaquillonas de 1 a 2 años, y terneros/as).

La cría vacuna es un proceso muy importante en la determinación de los resultados económicos de las empresas agropecuarias que se dedican a esta actividad. Los resultados reproductivos y productivos en esta etapa inciden en la reposición del rodeo, y afectan la tasa de extracción (Van Melis et al., 2010; Forabosco, 2005). Esto hace que sea cada vez más necesario hacer un mejor uso de los recursos disponibles, combinando de forma más eficiente las pasturas y el ganado, optimizando el manejo, la nutrición, la sanidad y la genética animal utilizados en dichos sistemas de producción (Pravia, 2010).

Los programas de evaluación genética son una de las herramientas más utilizadas en la selección de reproductores. Estos programas tienen como objetivo identificar y promocionar aquellos animales que mejor se adapten a las condiciones de producción existentes y que al mismo tiempo conduzcan a un incremento del beneficio económico de las explotaciones agropecuarias (Ravagnolo et al., 2013). Las evaluaciones genéticas en Uruguay se basan principalmente en el cálculo de la diferencia esperada en la progenie (DEP o EPD de su sigla en inglés), inicialmente para características de crecimiento (peso al nacer, al destete, 15 y 18 meses); posteriormente se incorporaron características de carcasa (área de ojo de bife, espesor de grasa subcutánea e intramuscular), reproductivas (circunferencia escrotal, y facilidad al parto), materna (habilidad lechera), y tamaño de la vaca (peso al momento de destetar los terneros) (Lema et al., 2013; Urioste, 2010).

Las características reproductivas tienen gran importancia en la determinación de la eficiencia económica de los sistemas de producción de ganado de carne en Uruguay (Pravia et al., 2014). Sin embargo, ofrecen una serie de dificultades: en general presentan una baja heredabilidad, y dificultades en la obtención de registros completos en las vacas. Como se ha señalado, medidas de mérito genético para características de crecimiento y carcasa son calculados de modo rutinario, pero todavía no se dispone de medidas similares para la habilidad reproductiva de las hembras. Por el momento, la información reproductiva de las vacas solo puede ser obtenida a través de los registros de nacimientos de sus hijos, inscriptos en los registros genealógicos de la Asociación Rural del Uruguay (ARU) y con peso de nacimiento y destete, pues la información sobre su comportamiento reproductivo no está totalmente desarrollada. En ese sentido, el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) desarrolló un programa, el SRGen, que apunta al seguimiento productivo y reproductivo detallado de las vacas a lo largo de toda su vida, considerando el reporte total del rodeo (Lema et al., 2013).

En ganado de carne, la longevidad es un elemento determinante de los resultados económicos de las empresas agropecuarias (Forabosco, 2005; Phocas et al., 1998). La longevidad es una medida del tiempo que se encuentra un animal en producción en el rodeo (Maiwashe et al., 2009; Dákay et al., 2006; Van der Westhuizen et al., 2001). El aumento de la longevidad permitiría aumentar las ganancias económicas debido a una disminución de la proporción de hembras que deben conservarse como reemplazos (y por lo tanto la proporción de animales disponibles para la venta), una disminución del costo de depreciación anual por vaca, un aumento de la proporción de vacas en grupos de edad de mayor producción, y un aumento del número de terneros (Van Melis et al., 2010; Forabosco, 2005). Es un aspecto fundamental bajo las condiciones de producción de carácter extensivo y semi-extensivo donde se realiza la cría en nuestro país.

Sin embargo, la evaluación genética de la longevidad y su incorporación en los programas de mejoramiento en ganado de carne se ve obstaculizada por tres factores. En primer lugar, se demora mucho tiempo en disponer de la información completa, siendo indispensable contar con registros de varios años para su estimación. Si la selección se basa en la medición directa de la característica, se corre el riesgo de que aumente el intervalo generacional del

rodeo y en consecuencia disminuya el progreso genético anual (Van Melis et al., 2010; Tanida et al., 1988). Una alternativa sería el uso de variables que se miden temprano en la vida del animal y que estén correlacionadas genéticamente con la longevidad. Otra alternativa sería el uso de selección genómica que, combinado con el uso de información genealógica, ayuden a mejorar la predicción del valor de cría en este tipo de características (Bonamy et al., 2018; Kluska et al. 2018). En segundo lugar, aunque se registra y evalúa en varios países, no hay una forma común de definir el rasgo y analizar los datos fenotípicos recolectados, y se desconocen las razones de refugio de los animales (Johnston, 2014; Forabosco, 2005). El tercer factor es la falta de información con respecto a estimaciones de parámetros genéticos para la longevidad en ganado de carne, necesaria para las evaluaciones genéticas (Forabosco, 2005). Falta además información sobre las razones de descarte

Los parámetros genéticos en características de longevidad encontrados en la literatura varían según la definición de la característica, raza, número de registros y tipo de análisis. Las estimaciones de heredabilidad se ubican en el rango de 0,01 a 0,35 (Van Melis et al., 2010; Martínez et al., 2004). Las correlaciones genéticas entre características de longevidad y otros caracteres reproductivos y productivos son en general favorables, con un rango entre -0,61 y 0,82 (Van Melis et al, 2010; Van der Westhuizen et al., 2001), dependiendo de la definición de la característica. Las estimaciones de parámetros genéticos encontradas en la literatura se ampliarán más adelante.

La longevidad en ganado de carne ha sido estudiada por varios autores (Van Melis et al., 2007; Martínez et al., 2004; Tanida et al, 1988). Sin embargo, pocos países incluyen en la actualidad esta característica en las evaluaciones genéticas (EE.UU, Italia, Brasil, Australia). Algunos ejemplos de características de longevidad incluidas en las evaluaciones genéticas internacionales son: fertilidad sostenida (American Hereford Association), y habilidad de permanencia (American Shorthorn Association). La Asociación Americana de Shorthorn evalúa también un Índice Materno Británico, que busca el equilibrio entre el crecimiento y rasgos de la canal, con un fuerte componente materno dirigido a una óptima eficiencia reproductiva y a aumentar la longevidad de las vacas (ASA, s.f.).

Una primera aproximación en lo que refiere a longevidad en bovinos de carne en Uruguay fue realizada por Larracharte (2015). En dicho estudio, las variables días de vida productiva y

habilidad de permanencia a los 5 años mostraron una importante variación fenotípica entre y dentro de establecimientos y muy asociadas entre sí. Se encontró además que el número de partos, éxito al segundo parto, éxito de tener tres partos consecutivos, días al parto y edad al primer parto mostraron una asociación fenotípica significativa con las variables de longevidad. Sin embargo, falta información de estimación de parámetros genéticos e inclusión de este tipo de este tipo de características en los programas de mejoramiento genético en ganado de carne a nivel nacional.

A continuación, se revisarán definiciones, metodología y estimación de parámetros genéticos de longevidad.

## **1.1 LONGEVIDAD EN GANADO DE CARNE**

La longevidad forma parte del grupo de características funcionales, que son aquellas características del animal que aumentan la eficiencia del rodeo al reducir los costos asociados a los reemplazos. Este grupo de características incluye además la fertilidad, facilidad al parto y temperamento (Forabosco, 2005).

La mejora de la longevidad de las vacas de cría conduciría a aumentar la eficiencia del rodeo a través de una reducción de la proporción de hembras de reemplazo (aumentando la proporción de animales disponibles para la venta), se produce un menor costo de depreciación anual y aumenta el número de terneros nacidos por vaca. En ganado de carne uno de los objetivos es el engorde de los animales a faena y esto genera algunas preocupaciones desde el punto de vista ético general. Algunos autores señalan que aumentar la longevidad de los animales sería conveniente, ya que podría aumentar la aceptación del consumidor, debido a la creciente preocupación por el bienestar de los animales, relacionado con la sostenibilidad de los sistemas de producción (Van Melis et al., 2010; Forabosco, 2005; Tanida et al., 1988).

### **1.1.1 Definiciones de longevidad**

En la literatura se citan varias definiciones sobre la característica longevidad. El punto inicial puede ser considerado al nacimiento, primer servicio, o primer parto; y el punto final puede ser la sobrevivencia a determinada edad, o simplemente cuando el productor refuga el animal

de su rodeo por cualquier motivo. La definición va a depender del enfoque considerado en la investigación (Forabosco, 2005; Van der Westhuizen et al., 2001; Dekkers, 1993).

En bovinos de leche es común hacer referencia a dos expresiones diferentes de longevidad: longevidad verdadera y longevidad funcional. La primera depende de la productividad del animal, y la segunda es la longevidad corregida por refugio voluntario, que depende de la habilidad de la vaca para evitar el refugio por razones involuntarias (Vollema, 1998; Dekkers, 1993; Ducrocq et al., 1988). El refugio voluntario es provocado parcialmente por una baja producción de leche, y el refugio involuntario se produce cuando la vaca muere o debe dejar el rodeo por problemas reproductivos o de salud (Vollema, 1998). La razón para distinguir entre refugio voluntario e involuntario es que la selección por longevidad verdadera es prácticamente equivalente a la selección por productividad, y no conduce necesariamente a la mejora genética en la capacidad de soportar refugio involuntario (Dekkers, 1993).

Esta distinción entre refugio voluntario e involuntario es particularmente difícil en ganado de carne, principalmente debido a la falta de información sobre las razones de refugio, y excepto en casos de emergencia (sacrificio por trastornos agudos de salud, aborto, distocia, o incluso la muerte), todas las demás decisiones de eliminación son técnicamente decididos y planificados por el productor (Forabosco, 2005).

En ganado de carne, se utilizan dos definiciones de longevidad que se relacionan con el momento de la observación: duración de vida productiva, y habilidad de permanencia.

#### **1.1.1.1 Duración de vida productiva**

Se utiliza cuando se mide la duración de la vida útil completa de la vaca y para este rasgo es necesario esperar hasta que la vaca sea refugada. La definición más utilizada se refiere al período de tiempo que transcurre entre el primer y último parto o sacrificio de una vaca (Dákay et al., 2006; Forabosco, 2005; Díaz et al., 2002).

Otros autores definieron duración de vida productiva en función del número de terneros nacidos hasta los 6 años de edad después de registrado su primer parto (Balieiro et al., 2008; Martínez et al., 2004). Martínez et al. (2004) definieron además el número de terneros destetados, y el peso al destete acumulado hasta los 6 años de edad, después de registrado

su primer parto a los dos años de edad. El peso al destete acumulado hasta determinada edad de la vaca es una medida integral de fertilidad (tasa de preñez y parto), capacidad materna (tasa de destete), capacidad de ordeño (peso al destete) y supervivencia de las vacas entendida como la capacidad de la vaca para retrasar el refugo (Tanida et al., 1988).

#### **1.1.1.2 Habilidad de permanencia**

Se define como la probabilidad de sobrevivir o permanecer una vaca en el rodeo a una determinada edad, dada la oportunidad de llegar a esa edad (Maiwashe et al., 2009; Van der Westhuizen et al., 2001). Snelling et al. (1995) definieron la variable como el éxito de tener al menos 2, 5, 8 o 11 terneros, dado que pare su primer ternero a los dos años de edad.

Otras medidas de longevidad encontradas en la bibliografía consideran el éxito de una vaca de parir consecutivamente hasta los 5, 6 o 7 años de edad, dada la oportunidad de reproducirse (Van Melis et al., 2007); o la producción de terneros hasta los 78 y 150 meses de edad, dado su primer parto a los tres años de edad (Venot et al., 2013). Jamrozik et al. (2013) evaluaron habilidad de permanencia al parto como medida de longevidad, y a cada vaca le asignaron hasta 7 registros binarios (S2, S3, ..., S8) correspondientes a habilidad de permanencia al segundo, tercer y hasta el octavo parto. Van Melis et al. (2010) definieron el número de partos por vaca como medida de longevidad en vacas Nelore.

La Asociación Americana de Hereford (American Hereford Association) incluye en su evaluación lo que denominan “fertilidad sostenida de la vaca” (sustained cow fertility), que hace referencia a la capacidad de una vaca de parir consecutivamente desde los tres hasta los doce años de edad, dado que haya tenido su primer parto a los dos años de edad (AHA, s.f.). Por otro lado, la Asociación Americana de Shorthorn (American Shorthorn Association) evalúa la característica “stayability”, como medida del porcentaje de hijas de un toro que permanecerán en el rodeo hasta los 6 años de edad (ASA, s.f.).

Un equipo de investigadores de la Universidad de Nebraska y de la Universidad de Cornell está actualmente investigando marcadores moleculares para habilidad reproductiva y habilidad de permanencia de las hembras en el rodeo utilizando muestras de ADN de vaquillonas y sus padres. Los toros se evaluarán en función del rendimiento de sus hijas. El

desarrollo de marcadores genéticos para habilidad de permanencia dentro del rodeo tendría un impacto significativo en los costos de desarrollo de hembras de reemplazo, permitiendo además seleccionar toros jóvenes con mayor exactitud (NBCEC, s.f.).

## **1.2 MODELOS DE ANÁLISIS UTILIZADOS PARA EVALUAR CARACTERÍSTICAS DE LONGEVIDAD**

La longevidad forma parte del grupo de características funcionales, que son aquellas características del animal que aumentan la eficiencia del rodeo al reducir los costos asociados a los reemplazos. Este grupo de características incluye además la fertilidad, facilidad al parto y temperamento (Forabosco, 2005).

El análisis estadístico se hace para predecir el valor genético aditivo de los animales a partir del registro fenotípico e información de parientes, estimar los valores de los parámetros del modelo y las varianzas apropiadas. Si los datos de la variable tienen una distribución normal multivariada, el método a utilizar sería "mejor predicción lineal insesgada (Best Linear Unbiased Prediction) desarrollado por Henderson (1973). Las variables categóricas, sin embargo, no se distribuyen normalmente y la metodología lineal es difícil de justificar, ya que la mayoría de los supuestos requeridos no se cumplen para este tipo de características (Gianola y Foulley, 1983).

Según la definición de longevidad utilizada, definida como una variable continua o discreta, será el modelo estadístico (lineal o no lineal) utilizado para analizar los datos y estimar el valor genético. En general los modelos aplicados han sido: modelo animal (Balieiro et al., 2008; Martínez et al., 2004), modelo umbral (Buzanskas et al., 2010; Van der Westhuizen et al., 2001), y en algunos casos el modelo de análisis de supervivencia (Díaz et al., 2002).

A continuación se describen los principales modelos encontrados en la literatura para analizar las variables indicadoras de longevidad. Para mayores detalles se sugiere ir a las referencias citadas en cada modelo.

### **1.2.1 Modelo animal**

En 1949 Henderson (1973) desarrolló una metodología llamada “mejor predicción lineal insesgada”, el BLUP (Best Linear Unbiased Prediction), mediante el cual se pueden estimar simultáneamente los efectos fijos y los valores de cría de todos los animales, teniendo en cuenta diferencias entre grupos contemporáneos. Las propiedades de los BLUP son: *best* significa que maximiza la correlación entre el verdadero valor de cría y el predicho o minimiza la varianza del error de predicción; *linear* significa que los predictores son funciones lineales de las observaciones; *unbiased* significa que la estimación de los valores realizados para una variable aleatoria de funciones estimables de efectos fijos es insesgada; y *prediction* implica la predicción de valores aleatorios (Mrode, 2013).

El *modelo animal* es uno de los modelos utilizados para describir variables cuantitativas, entre ellas longevidad, a través de una ecuación matemática que tiene en cuenta el efecto del propio animal y del ambiente que ha afectado la producción. En este modelo las diferencias entre los valores genéticos predichos no están sesgadas por la selección, los apareamientos dirigidos, y la reducción de la variabilidad genética asociada a la selección y la deriva (Mrode, 2013). Un requisito para la aplicación de este modelo es que en los análisis se debe incluir información de genealogía, de los padres seleccionados y de sus contemporáneos no seleccionados.

### **1.2.2 Modelo umbral**

Muchos fenotipos de interés tienen una base poligénica, pero se expresan como rasgos de estado discreto (Moorad y Linksvayer, 2008). Para el análisis genético de datos categóricos se aplican modelos lineales y no lineales. Por lo general, los modelos no lineales (umbral) son más complejos y tienen requisitos informáticos más altos. Los modelos umbrales asumen que los “polimorfismos” son causados por la variación en un fenotipo no observado pero distribuido normalmente llamado “liability” (Wright, 1934).

El *modelo umbral* describe la variable de respuesta observable utilizando un modelo lineal subyacente,  $I = \eta + \varepsilon$ , donde  $\eta$  es un parámetro de locación (lineal), y  $\varepsilon$  corresponde a un vector de variables aleatorias normales estándar independientes e idénticamente distribuidas

(Gianola y Foulley, 1983). La característica de interés puede tener dos o más clases fenotípicas. En el caso de que la variable presente dos clases fenotípicas (éxito o fracaso), éxito = 1 cuando la variable subyacente (liability)  $I$  es mayor que el umbral que separa ambas clases. Por lo tanto, la probabilidad condicionada de éxito o fracaso es  $Prob(\text{éxito} = 1/\eta) = \phi(\eta)$ , donde  $\phi$  es la función de distribución normal estándar. La distribución de  $I$  puede asumirse normal bajo los supuestos del modelo infinitesimal ( $I \sim N(0,1)$ ), ya que esta variante se considera como el resultado de una combinación lineal de pequeños efectos derivados de alelos en un gran número de loci, más los componentes ambientales aleatorios (Gianola y Foulley, 1983).

### **1.2.3 Modelo de sobrevivencia**

Un tercer tipo de análisis es el *análisis de sobrevivencia* (Sölkner y Ducrocq, 1999), una metodología estadística en la que se puede combinar información de registros no censurados (vacas con registros completos de vida productiva) y censurados (registros incompletos de vida productiva) para estimar diferentes parámetros genéticos; permite considerar covariables en función del tiempo y que pueden afectar la vida productiva de la vaca.

El análisis de sobrevivencia no es sencillo por varias razones: i) la distribución del tiempo de supervivencia rara vez se conoce y en la mayoría de los casos es extremadamente sesgada; ii) de las observaciones solo se conoce una parte (datos censurados); y iii) las variables independientes que influyen en el tiempo de supervivencia pueden variar con el tiempo (Sölkner y Ducrocq, 1999).

Un intercepto (media general) es siempre incluido implícitamente en el modelo Weibull (cuando hay un solo estrato y covariable) y no se especifica una covariable; este intercepto es igual  $\rho \log \lambda$ , donde  $\rho$  y  $\lambda$  son parámetros del modelo.

Las covariables pueden ser dependientes del tiempo ( $x(t)$ ), donde la dependencia se modela a través de trozos de funciones de riesgo constantes con saltos correspondientes a las fechas de calendario o vinculados al mismo individuo (por ejemplo, principio y fin de una enfermedad si se investigó el efecto de la enfermedad sobre la supervivencia) (Sölkner y Ducrocq, 1999).

## 1.3 PARÁMETROS GENÉTICOS EN CARACTERÍSTICAS DE LONGEVIDAD

### 1.3.1 Heredabilidades

Las estimaciones de parámetros genéticos relacionados con longevidad varían según la definición de la característica, el número de registros, y el modelo estadístico utilizado. El Cuadro 1 muestra un resumen de las heredabilidades encontradas en la literatura para las características de longevidad, utilizando para el análisis un modelo lineal.

Cuadro 1. Estimaciones de heredabilidad (media  $\pm$  desvío estándar) en características de longevidad, utilizando para el análisis un modelo lineal

Modelo lineal				
Característica	Raza	N° registros	Heredabilidad	Referencia
Días de vida productiva	Chianina	11477	0,08	Forabosco (2005)
	Hereford	1886	0,05 $\pm$ 0,05	Martínez et al. (2004)
	Hereford	1095	0,15 $\pm$ 0,03	Martínez et al. (2004)
	Hereford	1452	0,16 $\pm$ 0,08 0,26 $\pm$ 0,08	Tanida et al. (1988)
	Canchim	1340	0,22 $\pm$ 0,05	Mello et al. (2014)
	Canchim	1630	0,06 $\pm$ 0,00	Baldi et al. (2008a)
Longevidad	Nelore	8996	0,04	Balieiro et al. (2008)
	Nelore	693	0,08	Mercadante et al. (2000)
	Canchim	1370	0,24	Gianlorenco et al. (2003)
Habilidad de permanencia	Hereford	1868	0,09 $\pm$ 0,06	Martínez et al. (2005)
		1095	0,19 $\pm$ 0,09	
	Red Angus	2904	0,19 $\pm$ 0,05	Beckman et al. (2006)
		2682	0,15 $\pm$ 0,04	
		2515	0,08 $\pm$ 0,04	
np <sub>75</sub>	Charolais	49630-788756	0,04	Venot et al. (2013)
np <sub>150</sub>	Aubrac	73317-863368	0,06	
N° terneros nacidos	Hereford	751	0,07 $\pm$ 0,09	Mwansa et al. (2002)
		1886	0,16 $\pm$ 0,05	Martínez et al. (2004)
N° terneros destetados	Hereford	1886	0,21 $\pm$ 0,05	Martínez et al. (2004)
	Canchim	1340	0,24 $\pm$ 0,05	Mello et al. (2014)

np<sub>75</sub>: número de partos a los 75 meses de edad; np<sub>150</sub>: número de partos a los 150 meses de edad.

Las heredabilidades para días de vida productiva, longevidad, habilidad de permanencia, número de partos, y número de terneros destetados utilizando para el análisis un modelo lineal, fueron bajas a medias, en el rango de 0,04 a 0,26 (Mello et al., 2014; Balieiro et al., 2008; Martínez et al., 2004).

El Cuadro 2 muestra las heredabilidades encontradas en la literatura para características de longevidad analizadas con un modelo umbral.

Cuadro 2. Estimaciones de heredabilidad (media  $\pm$  desvío estándar) para habilidad de permanencia utilizando un modelo umbral

<b>Modelo umbral</b>				
<b>Raza</b>	<b>N° registros</b>	<b>Heredabilidad</b>		<b>Referencia</b>
<b>Habilidad de permanencia</b>				
Sintética	5694-1366	0,03-0,11		Van der Westhuizen et al. (2001)
Angus	1847	0,15		Doyle et al. (2000)
Hereford	1868	0,23 $\pm$ 0,12		Martínez et al. (2005)
	1095	0,30 $\pm$ 0,15		
Red Angus	1722	S5	0,22 $\pm$ 0,01	Snelling et al. (1995)
	1081	S8	0,19 $\pm$ 0,04	
Nelore	47113	S5	0,25 $\pm$ 0,02	Van Melis et al. (2007)
	39527	S6	0,22 $\pm$ 0,03	
	34667	S7	0,28 $\pm$ 0,03	Van Melis et al. (2010)
	80.831	S5	0,10 $\pm$ 0,01	
Canchim	10377	0,03 $\pm$ 0,01		Buzanskas et al. (2010)
Angus sudafricano	5906	0,20 $\pm$ 0,11		Maiwashe et al. (2009)
Nelore	35409	0,25 $\pm$ 0,01		Santana et al. (2013)
Red Angus	28985	0,12		Fennewald et al. (2018)
Simmental canadiense	15.132	0,35 $\pm$ 0,00		Jamrozik et al. (2013)

S5: probabilidad de una vaca de parir todos los años hasta la edad de 5 años; S6: probabilidad de una vaca de parir todos los años hasta los 6 años; S7: probabilidad de una vaca de parir todos los años hasta los 7 años; S8: probabilidad de una vaca de parir todos los años hasta los 8 años.

Las heredabilidades de habilidad de permanencia y número de partos, utilizando un modelo umbral fueron bajas a medias, y del orden de 0,03 a 0,38 (Van Melis et al., 2007; Van der Westhuizen et al., 2001; Snelling et al., 1995). Las estimaciones utilizando un modelo lineal y

un modelo umbral fueron prácticamente del mismo rango, siendo levemente inferiores las del modelo lineal.

En los trabajos que utilizaron un modelo de sobrevivencia, el rango de heredabilidades fue de 0,03-0,11 (Forabosco, 2005; Díaz et al., 2002). Estas estimaciones fueron inferiores a las reportadas en trabajos que utilizaron un modelo lineal o umbral.

Con la excepción de algunos trabajos (Buzanskas et al., 2010; Van Melis et al., 2010; Forabosco, 2005), en la mayoría de los estudios el número de registros fue bajo.

Cada uno de los enfoques utilizados para estimar los valores de heredabilidad de las características de longevidad tiene sus ventajas y desventajas. El modelo lineal es fácil de implementar y requiere menos demanda computacional. Algunos autores señalan que el modelo lineal es estadísticamente menos apropiado para el análisis de datos censurados, resultando más adecuado el uso de un modelo umbral (Van Melis et al., 2007; Forabosco, 2005). Por otro lado, Sölkner y Ducrocq (1999) señalan la importancia del análisis de sobrevivencia para estimar parámetros genéticos asociados a la longevidad, debido a que en el análisis incluye datos no censurados y censurados, y considera covariables que están en función del tiempo y que afectan la longevidad de las vacas.

### **1.3.2 Correlaciones genéticas**

Las correlaciones genéticas reportadas entre los diferentes rasgos de longevidad son pocas, y generalmente están asociadas a grandes errores estándar, debido principalmente al bajo número de datos disponibles para su análisis. Así como ocurre con los valores de heredabilidad, las estimaciones de correlaciones genéticas difieren entre estudios, debido principalmente a la definición de las características, al número de registros y al modelo estadístico utilizado.

El Cuadro 3 muestra un resumen de las correlaciones genéticas encontradas en la literatura entre características de longevidad en ganado de carne.

Cuadro 3. Correlaciones genéticas (media  $\pm$  desvío estándar) entre características de longevidad

Característica	Nº registros	Correlación genética	Raza	Referencia
L1-L2	1728	0,89 $\pm$ 0,07	Hereford	Martínez et al. (2004)
L1-L3	1566	0,83 $\pm$ 0,09		
L1-L4	1394	0,83 $\pm$ 0,11		
L1-L5	1224	0,76 $\pm$ 0,13		
L1-L6	1095	0,74 $\pm$ 0,14		
dvp-ntd	1452	0,96 $\pm$ 0,03	Hereford	Tanida et al. (1988)
Registros de hp	5808	0,01-0,22	Multirracial	Van der Westhuizen et al. (2001)
	1.164.319	0,61-0,99	Simental canadiense	Jamrozik et al. (2013)
np <sub>75</sub> np <sub>150</sub>	49.630-86.3368	0,92-0,95	Aubrac Charolais	Venot et al. (2013)
Registros de partos	693	0,98	Nelore	Mercadante et al. (1996)
dvp-número de terneros	8996	0,79	Nelore	Balieiro et al. (2008)
ntd	1886-1095	0,98 $\pm$ 0,01	Hereford	Martínez et al. (2004)
	1630	0,96	Canchim	Baldi et al. (2008b)

Ln: duración de la vida productiva en días de una vaca que estaba viva al parto y tuvo la oportunidad de vivir “n” años más; dvp: días de vida productiva; ntd: número de terneros destetados; np<sub>75</sub>: número de partos a los 75 meses de edad; np<sub>150</sub>: número de partos a los 150 meses de edad.

Las correlaciones genéticas entre registros de días de vida productiva, habilidad de permanencia, registros de partos, y de terneros destetados, se ubican en un rango de 0,61 a 1,0 (Jamrozik et al., 2013; Venot et al., 2013; Martínez et al., 2004). Estas correlaciones son favorables y de magnitud media a alta, con la excepción del estudio realizado por Van der Westhuizen et al. (2001), donde obtuvieron correlaciones bajas a medias y en el rango de 0,01 a 0,22.

El Cuadro 4 muestra las correlaciones genéticas encontrada en la literatura entre rasgos de longevidad y rasgos asociados al crecimiento de la vaca.

Cuadro 4. Correlaciones genéticas (media  $\pm$  desvío estándar o HPD95) entre características de longevidad y rasgos asociados al crecimiento de la vaca

Longevidad-crecimiento de la vaca				
Característica	N° registros	Correlación genética	Raza	Referencia
Peso al destete	751	-0,48 $\pm$ 0,44	Hereford	Mwansa et al. (2002)
	1984	0,16 $\pm$ 0,02	Nelore	Van Melis et al. (2010)
Ganancia post-destete	1984	0,30 $\pm$ 0,03	Nelore	Van Melis et al. (2010)
	35.409	0,11 $\pm$ 0,04	Nelore	Santana et al. (2013)
Peso al año	693	0,61	Nelore	Mercadante et al. (2000)
Peso al primer parto	1630	-0,29	Canchim	Baldi et al. (2008a)
	1340	-0,23 $\pm$ 0,16	Canchim	Mello et al. (2014)
AOB	13.303	0,31 (-0,04;0,64)*	Nelore	Kluska et al. (2018)
Grasa subcutánea	13.303	0,24 (-0,0;0,49)*	Nelore	Kluska et al. (2018)
Grosor grasa grupa	13.303	0,17 (0,0-0,34)*	Nelore	Kluska et al. (2018)

\* media (HPD95)

La asociación entre longevidad y rasgos de crecimiento de la vaca es muy variable. Se encontraron correlaciones genéticas variables con el peso al destete (-0,48 a 0,16) (Van Melis et al., 2010; Mwansa et al., 2002), ganancia post-destete (0,11-0,30) (Van Melis et al., 2010), y peso al año (0,61) (Mercadante et al., 2000). Otros autores reportaron correlaciones desfavorables con peso al primer parto (-0,29 a -0,23) (Mello et al., 2014; Baldi et al., 2008a) y peso adulto (-0,46) (Baldi et al., 2008a). Estos resultados muestran una asociación entre longevidad y rasgos de crecimiento en las vacas, que tiende a ser favorable antes del año de edad, y desfavorable en la etapa adulta. Para la relación entre longevidad y características de la canal (área de ojo de bife, grasa subcutánea y grosor de grasa de la grupa) el rango de correlaciones genéticas es de 0,17-0,31, indicando que una mejora de estos rasgos no conduciría a una mejora sustancial de la longevidad.

Las correlaciones genéticas entre rasgos de longevidad y rasgos reproductivos y de eficiencia energética se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Correlaciones genéticas (media  $\pm$  desvío estándar) entre características de longevidad y otros rasgos reproductivos y de condición corporal

Característica	N° registros	Correlación genética	Raza	Referencia
<b>Longevidad-reproductivas</b>				
Edad al primer parto	13.835	-0,63 $\pm$ 0,20	Canchim	Buzanskas et al. (2010)
	1340	-0,35 $\pm$ 0,17	Canchim	Mello et al. (2014)
	1630	-0,20	Canchim	Baldi et al. (2008a, 2008b)
Éxito al parto	5808	0,04-0,20	multirracial	Van der Westhuizen et al. (2001)
Preñez vaquillonas	1984	0,82 $\pm$ 0,02	Nelore	Van Melis et al. (2010)
CE	80.269-99242	0,01-0,19	Nelore y compuestas	Santana et al. (2013)
CE12	1370	0,33	Canchim	Gianlorenco et al. (2003)
CE18	1984	0,07 $\pm$ 0,03	Nelore	Van Melis et al. (2010)
CE420	13.835	0,45 $\pm$ 0,21	Canchim	Buzanskas et al. (2010)
<b>Longevidad-condición corporal</b>				
CC	2515-2904	-0,22 a -0,12	Red Angus	Beckman et al. (2006)
CC primer entore	1630	0,27	Canchim	Baldi et al. (2008a)
CC primer parto	1630	0,61	Canchim	Baldi et al. (2008a)

cc: condición corporal; CE: circunferencia escrotal; CE18: circunferencia escrotal a los 18 meses; CE420: circunferencia escrotal a los 420 días.

Entre características de longevidad y rasgos reproductivos, se encontraron correlaciones favorables y negativas con edad al primer parto (-0,63 a -0,20) (Mello et al., 2014; Buzanskas et al., 2010; Baldi et al., 2008a); favorables y positivas con preñez en vaquillonas (0,82) (Van Melis et al., 2010) y éxito al parto (rango 0,04 a 0,20) (Van Melis et al., 2010; Van der Westhuizen et al., 2001). La selección por menor edad al primer parto, preñez en vaquillonas y éxito al parto implicaría un aumento de la permanencia de las vacas en el rodeo. Santana et al. (2013), Buzanskas et al. (2010), y Gianlorenco et al. (2003) evaluaron la asociación de

longevidad y circunferencia escrotal, y encontraron correlaciones genéticas favorables (0,01-0,45), lo que indicaría que la selección de toros con mayor circunferencia escrotal mejoraría la permanencia de sus hijas en el rodeo.

Beckman et al. (2006) encontraron correlaciones genéticas desfavorables entre habilidad de permanencia y condición corporal (-0,22 a -0,12), indicando que vacas con mejores puntajes de condición corporal serían menos longevas. Sin embargo, Baldi et al. (2008a) evaluaron la asociación genética entre el tiempo de permanencia en el rodeo y condición corporal al primer entore, primer parto y a una edad adulta, para lo cual estimaron correlaciones genéticas de -0,46, 0,27 y 0,61, respectivamente.

En conclusión, existen pocos antecedentes de estimación de parámetros genéticos e inclusión de este tipo de características en los programas de mejora genética en ganado de carne. Es importante la estimación de parámetros genéticos para las características de longevidad, y sus asociaciones con características que se puedan medir más temprano en la vida del animal, y que puedan ser usadas como indicadores tempranos de longevidad. Para ello, se han planteado las siguientes hipótesis y objetivos correspondientes.

#### **1.4 HIPÓTESIS**

**Hipótesis 1:** días de vida productiva y habilidad de permanencia a los 5 años son características heredables y existe posibilidad de selección en ellas

**Hipótesis 2:** existe una correlación genética favorable y alta entre días de vida productiva y habilidad de permanencia a los 5 años

**Hipótesis 3:** existe una baja asociación fenotípica y genética favorable entre las características de longevidad y otras variables reproductivas (días al primer parto, éxito de preñez al segundo parto, éxito de tener tres partos consecutivos)

#### **1.5 OBJETIVOS**

Los objetivos del presente estudio fueron: i) estimar heredabilidades para las características: días de vida productiva y habilidad de permanencia a los 5 años en ganado Aberdeen Angus; ii) estimar la correlación fenotípica y genética entre días de vida productiva y habilidad de

permanencia a los 5 años; y iii) cuantificar posibles asociaciones fenotípicas y genéticas entre variables de longevidad y otras variables reproductivas.

La parte central de esta tesis consiste en un artículo científico que aborda estos objetivos. El artículo se titula “Estimación de parámetros genéticos en características de longevidad y reproductivas en ganado Aberdeen Angus en Uruguay”, escrito según las instrucciones de la revista “Agrociencia Uruguay”. Adicionalmente, se analiza la respuesta a la selección por habilidad de permanencia a los 5 años (hp5), éxito de preñez al segundo parto (preg2) y éxito de tener tres partos consecutivos (exit3). En el tercer capítulo de esta tesis se presenta una discusión y conclusiones generales.

## **2. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS EN CARACTERÍSTICAS DE LONGEVIDAD Y REPRODUCTIVAS EN GANADO ABERDEEN ANGUS EN URUGUAY**

### **Estimación de parámetros genéticos en características de longevidad y reproductivas en ganado Aberdeen Angus en Uruguay**

Larracharte Andrea, López-Correa Rodrigo, Espasandin Ana Carolina, Urioste Jorge

Departamento de Producción Animal y Pasturas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay

Avenida Garzón 780. 12900 Montevideo, Uruguay. [andla31@gmail.com](mailto:andla31@gmail.com)

#### **2.1 Resumen**

**Estimación de parámetros genéticos en características de longevidad y reproductivas en ganado Aberdeen Angus en Uruguay.** Las características de longevidad y reproducción tienen gran importancia en la eficiencia económica de los sistemas de producción de carne. El objetivo del presente estudio fue estimar parámetros genéticos en características de longevidad y reproducción, y evaluar posibles consecuencias en la selección. Se utilizaron registros de 10.517 vacas Aberdeen Angus incluidas en la base de datos poblacional, con un primer parto en primavera, nacidas entre 1975 y 2012, hijas de toros con 5 o más hijas (promedio: 15 hijas/toro), provenientes de rodeos con 25 o más observaciones, integrando grupos contemporáneos de 5 o más vacas. Las variables analizadas de longevidad fueron días de vida productiva (dvp) y habilidad de permanencia a los 5 años (hp5); y las reproductivas fueron días al primer parto (dias1), éxito de preñez al segundo parto (preg2), y éxito de tener tres partos consecutivos (exito3). Preg2, exito3 y hp5 se definieron como características binarias, y dias1 y dvp como continuas; a dvp se le realizó una transformación logarítmica. Se utilizó un modelo multicarácter, umbral-lineal, que incluyó efectos de grupo contemporáneo (rodeo y año de nacimiento), edad al primer parto (covariable), y efecto genético del animal, implementado con el programa THRGIBBS1F90. Las estimaciones (media  $\pm$  desvío estándar *a posteriori*) de heredabilidad fueron  $0,07 \pm 0,03$  y  $0,11 \pm 0,05$  para

dvp y hp5,  $0,07 \pm 0,02$ ,  $0,23 \pm 0,04$ , y  $0,24 \pm 0,04$  para días1, exito3 y preg2, respectivamente. La correlación genética entre dvp y hp5 fue favorable y alta ( $+0,79 \pm 0,08$ ); y entre características reproductivas favorables y altas ( $-0,67 \pm 0,12$  entre días1-exito3,  $-0,73 \pm 0,10$  entre días1-preg2 y  $+0,83 \pm 0,05$  entre exito3-preg2). Las correlaciones entre longevidad y reproducción fueron variables, desde no diferentes de cero (días1 con hp5 y dvp) a medias ( $+0,45 \pm 0,17$  entre hp5-exito3,  $+0,24 \pm 0,18$  entre exito3-dvp). Futuros estudios deberán explorar asociaciones con otras variables, y su eventual integración a programas de evaluación genética.

**Palabras clave:** días de vida productiva, habilidad de permanencia, partos consecutivos

## 2.2 Summary

**Estimation of genetic parameters in longevity and reproductive characters in Aberdeen Angus cattle in Uruguay.** Longevity and reproduction traits have great impact in the economic efficiency of beef cattle production systems. The objective of this study was to estimate genetic parameters of longevity and reproduction traits and to evaluate possible consequences in the process of selection. The data base included records belonging to 10.517 Aberdeen Angus cows with their first calving in spring, born between 1975 and 2012, daughters of bulls with 5 or more daughters (average: 15 daughters per bull), belonging to herds with at least 25 observations and being part of contemporary groups of at least 5 cows. The longevity variables analyzed were days of productive life (dvp) and stayability at 5 years of age (hp5); and the reproductive ones were days to first calving (días1), pregnancy successes at second calving (preg2) and success of three consecutive calvings (exito3). Preg2, exito3 and hp5 were defined as binary traits, on the other hand días1 and dvp were defined as continual ones; dvp was transformed logarithmically. A multitrait, threshold-linear model was used which included the effects of contemporary group (herd and year of birth), age at first calving (covariate), and animal genetic effect; the analysis was implemented with the THRGIBBS1F90 program. Estimates (average  $\pm$  standard deviation *a posteriori*) of heritability were  $0,07 \pm 0,03$  and  $0,11 \pm 0,05$  for dvp and hp5,  $0,07 \pm 0,02$  for días1,  $0,23 \pm 0,04$  for exito3, and  $0,24 \pm 0,04$  for preg2. The genetic correlation between dvp and hp5 was high and favorable ( $+0,79 \pm 0,08$ ); and among reproductive traits was also high and favorable ( $-0,67 \pm 0,12$  for días1 and exito3,  $-0,73 \pm 0,10$  for días1 and preg2 and  $+0,83 \pm 0,05$  between

exito3 and preg2). Correlations between longevity and reproduction were variable, from non different from zero (dias1 with hp5 and dvp) to medium ( $+0,45\pm 0,17$  between hp5-exito3,  $+0,24\pm 0,18$  between exito3-dvp). The response to multivariate selection suggests significant (non-zero) responses to direct selection by hp5, exito3 and preg2, and a favourable correlated response for the other characteristics, except for dias1 when selected for hp5, and for dvp when selected for exito3 or preg2.

**Key words:** days of productive life, stayability, consecutive calvings

### 2.3 Introducción

En ganado de carne, la longevidad y los rasgos reproductivos de una vaca son características complejas que afectan la rentabilidad y eficiencia de los sistemas de producción <sup>(1)</sup>. La longevidad es una medida del tiempo que se encuentra un animal en producción en el rodeo, y es un aspecto fundamental bajo las condiciones de producción de carácter extensivo y semi-extensivo donde se realiza la cría en nuestro país.

El aumento de la longevidad de las vacas permitiría aumentar las ganancias económicas debido a una disminución de la proporción de hembras que deben conservarse como reemplazos (y por lo tanto la proporción disponible para la venta), una disminución del costo de depreciación anual por vaca, un aumento de la proporción de vacas en grupos de edad de mayor producción, y un aumento del número de terneros <sup>(2,3,4)</sup>.

En la literatura generalmente son utilizadas dos definiciones de longevidad que se relacionan con el momento de la observación. La primera, "duración de vida productiva", se define como el período de tiempo que transcurre entre el primer y último parto o sacrificio de una vaca, y para este rasgo es necesario esperar hasta que la vaca sea refugada <sup>(5,2)</sup>. La segunda es "habilidad de permanencia", definida como la probabilidad de sobrevivir o permanecer una vaca en el rodeo a una determinada edad, dada la oportunidad de llegar a esa edad <sup>(4)</sup>.

Las estimaciones de parámetros genéticos encontradas en la literatura para caracteres de longevidad varían según la raza, el número de registros y el tipo de análisis. Para días de vida productiva (días) y longevidad (años) el rango de valores de heredabilidad va de 0,02 a 0,20 <sup>(6,2,3)</sup> y para habilidad de permanencia, entre 0,01 y 0,35 <sup>(7,8,4)</sup>. Entre registros de habilidad de

permanencia, las correlaciones genéticas son altas y en el rango de 0,61 a 1,0 <sup>(9,3,10)</sup>, con la excepción del trabajo presentado por Van der Westhuizen et al. <sup>(4)</sup>, que estimaron correlaciones bajas a medias, entre 0,01 y 0,22.

Las características reproductivas tienen gran importancia en la determinación de la eficiencia económica de los sistemas de producción de ganado de carne en Uruguay <sup>(11)</sup>. Sin embargo, existen pocos antecedentes de parámetros genéticos e inclusión de este tipo de características en los programas de mejora genética en ganado de carne.

Las correlaciones genéticas entre características de longevidad y de reproducción observadas en la literatura difieren entre trabajos. Se han encontrado correlaciones genéticas favorables entre características de longevidad y edad al primer parto (-0,63  $\pm$  0,20), éxito al parto (0,04-0,20) <sup>(4)</sup>, preñez en vaquillonas (0,82  $\pm$  0,02) <sup>(6)</sup>, número de terneros (0,79) <sup>(1)</sup>, y circunferencia escrotal (0,01-0,45) <sup>(6,7)</sup>. Algunos estudios han informado de correlaciones genéticas negativas y desfavorables entre caracteres de longevidad y condición corporal (-0,41 a -0,22) <sup>(12)</sup> y peso vivo a los 420 días (-0,09  $\pm$  0,11) <sup>(7)</sup>.

Sin embargo, existen diferencias en el marco en que se realizaron estos estudios, desde el número de registros, el origen (experimentales o datos de campo), los métodos de análisis, o razas utilizadas en los diferentes estudios. Estos factores probablemente influyan en las estimaciones de los parámetros genéticos publicados.

En función de los antecedentes presentados, el objetivo de este trabajo fue el estudio de la variabilidad y las relaciones genéticas (heredabilidades y correlaciones genéticas) entre días de vida productiva (dvp) y habilidad de permanencia a los 5 años (hp5) y otros caracteres reproductivos: días al primer parto (dias1), éxito de preñez al segundo parto (preg2), y éxito de tener tres partos consecutivos (exito3) en ganado Aberdeen Angus de Uruguay.

## **2.4 Materiales y métodos**

### *2.4.1 Datos*

Los datos utilizados forman parte de la base de datos productivos y genealógicos proporcionados por la Sociedad de Criadores de Aberdeen Angus del Uruguay a través del

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). En tanto no se trabajó con animales vivos, no se requirió la aprobación de la Comisión Honoraria de Experimentación Animal (CHEA). El conjunto de datos inicial incluyó 98.833 registros de partos de 12.322 vacas, entre los años 1975 y 2013. El archivo genealógico inicial contenía registros de 171.381 animales.

#### *2.4.2 Edición de datos*

La información reproductiva de las vacas fue obtenida indirectamente a través de los registros de nacimientos de sus hijos, pues la información sobre su comportamiento reproductivo no estaba a la fecha, totalmente desarrollada. En base a esto, fueron considerados algunos supuestos.

Los registros de vacas sin fecha de nacimiento o con distintas fechas de nacimiento en el archivo de datos y el genealógico se editaron asumiendo como dato correcto el correspondiente al archivo genealógico. Se recuperaron registros de criador que no estaban en el archivo de datos original a partir del archivo genealógico. Se eliminaron los registros de vacas con fechas de nacimiento estandarizados (1 de enero o 1 de julio), sin fecha de parto, vacas repetidas pero con distinta fecha de nacimiento, sin registro de padre, o con tratamientos reproductivos especiales (transferencia de embriones).

Se identificaron dos estaciones de parto principales, pariciones de otoño (marzo a junio), y de primavera (julio a diciembre). Para el análisis solo se consideraron partos de primavera, debido a que las pariciones de otoño eran solo el 2% de los datos. Las fechas de parto que no entraban dentro de esos períodos se revisaron manualmente para su correcta asignación a una estación de parto. Para la variable días al primer parto se definieron grupos de manejo: “inseminación artificial” (cuando la vaca era inseminada con toros extranjeros), y “otros” (el resto de los casos, que pueden incluir monta natural o inseminaciones no identificadas).

A partir de los archivos de parto se generó un nuevo archivo por vaca conteniendo la información acumulada de hasta 9 partos por vaca. En este nuevo archivo se crearon las variables de longevidad: días de vida productiva y habilidad de permanencia a los 5 años; y reproductivas: días al primer parto, éxito de preñez al segundo parto y éxito de tener tres partos consecutivos.

A partir de la fecha de nacimiento y la fecha de primer parto se estimó la edad al primer parto, y se mantuvieron en el análisis los animales con edad al primer parto entre 600 y 1400 días, nacidos entre 1975 y 2012, e intervalos de partos entre 11 y 23 meses. Si las vacas tuvieron un solo registro de primer parto, fueron consideradas en los análisis de días al primer parto, pero no en las otras características definidas.

Con la información de partos sucesivos se creó un patrón de partos por vaca que permitió crear las variables éxito de preñez al segundo parto (preg2) y éxito de tener tres partos consecutivos (exito3). Si una vaca tuvo registro de primer parto, y al año siguiente no presentó registro de parto, pero sí lo hizo en años posteriores, se asume que la vaca falló en su segundo parto (preg2 = "1"). Para que una vaca presente éxito al segundo parto (preg2 = "2") debe tener registro de segundo parto. Para que una vaca tenga exito3 "2", debe haber tenido éxito al segundo parto y tener sus tres primeros partos consecutivos, de lo contrario se clasificó como exito3 "1".

Para definir si una vaca tuvo oportunidad de estar presente en el rodeo a los 5 años, se identificó el último año de registros en cada establecimiento, y se controló que el año de nacimiento de la vaca fuera como mínimo 5 años antes del último año de registros. Se consideraron solamente hijas de toros con 5 o más hijas provenientes de rodeos con 25 o más observaciones, integrando grupos de contemporáneos de 5 o más vacas.

#### *2.4.3 Caracterización de la base de datos*

La planilla de datos obtenida finalmente contenía información sobre la identificación del criador, raza e identificación de la vaca, fecha de nacimiento, fecha de primer parto y de partos sucesivos, raza e identificación del padre.

En el Cuadro 1 se puede observar una caracterización general de la base de datos analizada.

Cuadro 1. Caracterización de la base de datos

		Número
Registros total de partos		31.811
Registro total de vacas		10.517
	Pedigree	6473
	Puro de origen	4044
Número de criadores		102
Promedio de vacas/criador		104
Número de toros		719
Promedio hijas/toro		15

De los registros utilizados un 62% son datos pedigree y el 38% puro de origen.

Se consideró la información genealógica de 21190 animales, pertenecientes a las últimas tres generaciones en relación a los animales con datos. El Cuadro 2 muestra la información genealógica por animal.

Cuadro 2. Caracterización de la información genealógica por animal

Información genealógica		
	Número	Porcentaje (%)
padre+madre	16.883	80
solo padre	1112	5
solo madre	32	0
sin ancestros	3163	15
Total	21.190	100

Del total de animales con registro, un 80% presentaba registro de padre y madre, resultando en un bajo porcentaje de animales sin ancestros (15%). A su vez, el 50% de los animales del archivo genealógico presentaba dato, y solo un 9% se encontraba a tres pasos del dato. Estos números reflejan la existencia de una información genealógica de aceptable calidad.

#### 2.4.4 Variables analizadas

##### 2.4.4.1 Variables de longevidad

- **Días de vida productiva (dvp):** mide la duración de la vida útil completa de la vaca, expresada como días desde el primer hasta el último parto registrado.

Para normalizar la distribución de esta variable, en los análisis se utilizó una transformación logarítmica (logaritmo neperiano de los días desde el primer al último parto).

- **Habilidad de permanencia a los 5 años (hp5):** variable binaria, se define como la probabilidad de sobrevivir o permanecer una vaca en el rodeo hasta los 5 años de edad, siempre que tenga la oportunidad, y se la clasificó como “1” cuando tuvo chance pero no llegó, y “2” si estuvo presente a los 5 años.

##### 2.4.4.2 Variables reproductivas

- **Días al primer parto (dias1):** es el intervalo en días entre la fecha del primer parto en la estación de parición hasta la fecha de primer parto de la vaca, registrada dentro de cada año y establecimiento <sup>(13)</sup>.
- **Éxito de preñez al segundo parto (preg2):** variable binaria que se clasifica como “1” cuando la vaca está presente pero no tuvo cría al segundo parto, y “2” significa que la vaca parió <sup>(13)</sup>.
- **Éxito de tener tres partos consecutivos (exito3):** variable binaria que se clasifica como “1” cuando la vaca no tuvo tres partos consecutivos, y “2” cuando sí los tuvo.

#### 2.4.5 Análisis estadístico

Las variables continuas dias1 y dvp se describieron en términos de medias, desvíos estándar, coeficientes de variación, y valores de mínimos y máximos; y las variables discretas hp5, preg2 y exito3 se describieron como porcentaje de éxito, utilizando el programa R <sup>(14)</sup>.

### 2.4.5.1 Modelo estadístico

Para la estimación de los componentes de varianza y parámetros genéticos se utilizó un modelo animal multicarácter de las 5 variables definidas, umbral-lineal. El modelo incluyó efectos de grupo contemporáneo, edad al primer parto (covariable), y efecto genético animal. El grupo contemporáneo se definió como vacas nacidas en el mismo rodeo y año; días1 incluyó además grupo de manejo en el primer entore.

El modelo de análisis genético fue descrito como:

$$y = Xb + Zu + e$$

En forma matricial, el modelo se describe como:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Z_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Z_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Z_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \\ e_5 \end{bmatrix}$$

donde  $y_i$  es el vector de observaciones para la característica  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ),  $b_i$  es el vector de efectos fijos (contiene los efectos de grupo contemporáneo y edad al primer parto como covariables),  $u_i$  es el vector de efectos aleatorios (contiene todos los animales, con o sin datos),  $X_i$  es la matriz de incidencia que relaciona las observaciones con los efectos fijos,  $Z_i$  es la matriz de incidencia que relaciona las observaciones con los efectos aleatorios, y  $e_i$  es el vector de efectos aleatorios residuales.

Se asumió que el efecto genético aditivo del animal tiene una distribución normal multivariada,  $a \sim N(0, G_0 \otimes A)$ , donde  $G_0$  es una matriz de (co) varianzas genéticas aditivas entre características y  $A$  es la matriz de parentescos entre los animales de la genealogía. A su vez  $e \sim N(0, R_0 \otimes I_n)$ . Donde  $R_0$  es una matriz de varianzas y covarianzas residuales. Las matrices  $G_0$  y  $R_0$  son independientes.

Las variables binarias hp5, preg2 y exito3 se analizaron utilizando un modelo umbral, el cual postula el concepto de una variable continua subyacente que se relaciona con la escala observada a través de un umbral que separa ambas expresiones fenotípicas <sup>(15)</sup>. Se utilizó el

código "0" para identificar datos faltantes (no se puede deducir del archivo si la vaca está presente o ausente, por ejemplo si es el último año de registro en un rodeo determinado).

#### 2.4.5.2 Implementación

Los componentes de varianza y covarianza fueron estimados por inferencia bayesiana, utilizando un muestreo de Gibbs, mediante el programa THRGIBBS1F90 <sup>(16)</sup>. Las muestras de los componentes de covarianza fueron obtenidas de cadenas de 2.500.000 iteraciones, siendo excluidas las primeras 500.000 (*burn-in*), con una distancia de muestreo de 500 iteraciones (*thinning interval*), quedando 4000 muestras. A partir de dichas muestras, se calcularon las medias *a posteriori* para los componentes de covarianza y parámetros genéticos, con el correspondiente valor de intervalo de confianza de 95% (HPD). El diagnóstico de convergencia de Geweke se realizó con el paquete BOA <sup>(17)</sup> utilizando la plataforma R <sup>(14)</sup>.

Los valores de heredabilidad y correlaciones genéticas y fenotípicas se obtuvieron según la fórmula:

$$h^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_A^2 + \sigma_E^2} r_{A_1 A_2} = \frac{cov_{A_1 A_2}}{\sigma_{A_1} \sigma_{A_2}} r_{P_1 P_2} = \frac{cov_{P_1 P_2}}{\sigma_{P_1} \sigma_{P_2}}$$

donde  $h^2$  es la heredabilidad en sentido estricto de la característica;  $\sigma_A^2$  es la varianza genética aditiva;  $\sigma_E^2$  es la varianza ambiental;  $r_A$  es la correlación genética aditiva;  $cov_{A_1 A_2}$  es la covarianza genético aditiva entre la característica 1 y 2;  $\sigma_{A_1}$  es el desvío estándar aditivo de la característica 1;  $\sigma_{A_2}$  es el desvío estándar aditivo de la característica 2;  $cov_{P_1 P_2}$  es la covarianza fenotípica entre la característica 1 y 2;  $\sigma_{P_1}$  es el desvío estándar fenotípico de la característica 1;  $\sigma_{P_2}$  es el desvío estándar fenotípico de la característica 2.

Se definió el siguiente rango de clasificación de heredabilidad: baja (<0,15), media (0,15-0,40), alta (0,40-0,60), y muy alta (>0,60). Para las correlaciones (valor absoluto): muy baja (<0,20), baja (0,2-0,4), media (0,4-0,6), alta (0,6-0,8) y muy alta (>0,8).

#### 2.4.6 Evaluación de consecuencias genéticas de la selección

A los efectos de evaluar el posible impacto genético de la selección en las características estudiadas a partir de los parámetros estimados, se realizó una aproximación siguiendo la metodología propuesta por Walsh <sup>(18)</sup> para respuestas multivariadas.

La respuesta a la selección en la característica de interés (hp5, exito3 o preg2) se estimó en un componente directo y otro indirecto:

$$R_j = G_{jj}\beta_j + \sum_{i \neq j} G_{ij}\beta_i = \sigma^2(A_j)\beta_j + \sum_{i \neq j} \sigma(A_j, A_i)\beta_i$$

donde el primer término de la ecuación es la respuesta directa del carácter j, y el segundo es la respuesta indirecta de j al seleccionar por i;  $\sigma^2(A_j)$  es la varianza genética aditiva del carácter j;  $\sigma(A_j, A_i)$  es la covarianza genética aditiva entre el carácter j e i; y  $\beta_j$  y  $\beta_i$  es el gradiente de selección del carácter j e i, respectivamente.

$$\beta = \frac{S}{\sigma_p^2} \quad S = i \sigma_p$$

donde S es el diferencial de selección;  $\sigma_p^2$  es la varianza fenotípica del carácter; i es la intensidad de selección;  $\sigma_p$  es el desvío estándar fenotípico del carácter.

Las varianzas fenotípicas se estimaron sumando la varianza genética aditiva y residual obtenidas de los análisis. Para el cálculo de S se asumió una i de 1 y 0,4 para las características hp5, exito3 y preg2.

La respuesta correlacionada en las restantes características se calculó de la siguiente manera <sup>(18)</sup>:

$$RC_j = G_{ij}\beta_j = \sigma(A_j, A_i)\beta_i$$

donde  $\sigma(A_j, A_i)$  es la covarianza genética aditiva entre el carácter j e i; y  $\beta_i$  es el gradiente de selección del carácter i.

## 2.5 Resultados

### 2.5.1 Estadística descriptiva

El Cuadro 3 resume el número de registros y estadísticas descriptivas (cuantiles, mediana, media, mínimo y máximo) para las variables continuas días al primer parto (dias1) y días de vida productiva (dvp), y el porcentaje y número de registros de las variables discretas habilidad de permanencia a los 5 años (hp5), éxito de preñez al segundo parto (preg2), y éxito de tener tres partos consecutivos (exito3). En Anexo Cuadro A1 se agregó la distribución de los datos para las variables discretas hp5, preg2 y exito3, y las distribuciones originales de todas las variables analizadas; que no son normales, pero se asumió esta distribución o se hizo una transformación logarítmica por simplicidad de los análisis. Para dias1 se probó con la variable transformada y no transformada, y los resultados fueron similares, por lo tanto se dejó sin transformar. En dvp se tomó el logaritmo, que si bien no corrige todo, es la variable que se eligió.

Cuadro 3. Número de registros (N), mínimo, cuantil 25% (Q1), mediana, media, cuantil 75% (Q3), y máximo, para dias1 y dvp, y porcentaje y número de registros para hp5, preg2 y exito3

Característica	N	Mínimo	Q1	Mediana	Media	Q3	Máximo
dias1	10517	0	11	27	36	57	179
dvp	8144	310	683	1119	1274	1827	3039
		Número de registros			Porcentaje de éxito (%)		
hp5		3604			70		
preg2		6656			57		
exito3		6317			26		

dias1: días al primer parto (días); dvp: días de vida productiva (días); hp5: habilidad de permanencia a los 5 años (%); preg2: éxito de preñez al segundo parto (%); exito3: éxito de tener tres partos consecutivos (%)

### 2.5.2 Análisis estadístico

El Cuadro 4 resume las estimaciones de heredabilidad y correlaciones genéticas y fenotípicas para las características de longevidad y reproductivas a partir de un análisis pentavariado.

Cuadro 4. Estimaciones (media  $\pm$  HPD95) de heredabilidad (diagonal), correlaciones genéticas (encima de la diagonal) y correlaciones fenotípicas (debajo de la diagonal) para las variables de longevidad y reproductivas

Característica	hp5	dvp	dias1	exito3	preg2
hp5	0,11 (0,05; 0,18)	0,79 (0,60; 0,92)	-0,02 * (-0,50; 0,40)	0,45 (0,40; 0,72)	0,38 (0,20; 0,62)
dvp	0,96 (0,71; 0,90)	0,07 (0,03; 0,12)	-0,09 * (-0,51; 0,31)	0,24 * (-0,10; 0,51)	0,21 * (-0,10; 0,50)
dias1	-0,02 * (-0,05; 0,03)	-0,05 * (-0,06; 0,00)	0,07 (0,04; 0,11)	-0,67 (-0,84; -0,63)	-0,73 (-0,82; -0,50)
exito3	0,32 (0,23; 0,42)	0,25 (0,2; 0,31)	-0,08 (-0,12; -0,06)	0,23 (0,15; 0,30)	0,83 (0,72-0,93)
preg2	-0,08 * (-0,10; 0,11)	-0,14 (-0,21; -0,10)	-0,09 (-0,10; -0,07)	0,86 (0,82; 0,94)	0,24 (0,16-0,31)

dias1: días al primer parto; hp5: habilidad de permanencia a los 5 años; dvp: días de vida productiva; exito3: éxito de tener tres partos consecutivos; preg2: éxito de preñez al segundo parto; (\*) valores no significativos

Las estimaciones de heredabilidad para todas las características presentaron valores bajos a medios. Para las características de longevidad, los valores de heredabilidad fueron bajos; 0,07 para dvp, y 0,11 para hp5. Para las características reproductivas, los valores fueron bajos a medios, y variaron entre 0,07 y 0,24. De 4000 muestras, el tamaño efectivo muestral para las estimaciones de heredabilidades y correlaciones genéticas fue de 531 a 951, y de 332 a 678 muestras, respectivamente.

La correlación genética entre dvp y hp5 fue favorable (positiva) y alta, en tanto entre variables reproductivas los valores de correlaciones genéticas fueron favorables (negativas) y altas de dias1 con exito3 y preg2, y favorable (positiva) y alta entre preg2 y exito3. Entre características de longevidad y de reproducción las correlaciones genéticas fueron variables. La asociación genética de hp5 con preg2 y exito3 fue favorable y media, no resultando significativa la correlación con dias1. Las correlaciones genéticas entre dvp y las variables reproductivas no fueron significativas.

La correlación fenotípica entre dvp y hp5 fue favorable (positiva) y muy alta, y entre variables reproductivas fueron favorables (negativas) y muy bajas de dias1 con exito3 y preg2, y favorable (positiva) y alta entre exito3 y preg2. Entre las características de longevidad y dias1

las correlaciones fueron favorables (negativas) y cercanas a cero. Entre exito3 y las características de longevidad la correlación fue favorable (positiva) y media. La correlación entre preg2 y hp5 fue favorable (positiva) y cercana a cero, y con dvp fue desfavorable (negativa) y muy baja.

### 2.5.3 Evaluación de consecuencias genéticas a la selección

El Cuadro 5 muestra la respuesta total a la selección cuando seleccionamos por hp5, descompuesta en sus componentes directos e indirectos, de acuerdo a los supuestos tomados de Walsh <sup>(18)</sup> y asumiendo una exactitud similar a la obtenida por una selección por progenie con 15 hijas por toro (ver Cuadro 1). Se calculó además la respuesta correlacionada en dias1, dvp, éxito y preg2 al seleccionar por hp5.

Cuadro 5. Media posterior (HPD95) de la respuesta a la selección multivariada cuando se selecciona por hp5, asumiendo una intensidad de 1 o 0,4

Selección por hp5		
Intensidad	1,0	0,4
Directa	0,12 (0,06; 0,20)	0,05 (0,02; 0,08)
Indirecta	0,10 (0,05; 0,16)	0,04 (0,02; 0,06)
Total	0,22 (0,11; 0,36)	0,09 (0,04; 0,14)
Respuesta correlacionada en		
dias1	-0,01 (-0,80; 0,81)*	-0,00 (-0,32; 0,32)*
Dvp	0,03 (0,02; 0,05)	0,01 (0,00; 0,02)*
exito3	0,08 (0,02; 0,15)	0,03 (0,00; 0,06)*
preg2	0,20 (0,14; 0,27)	0,08 (0,05; 0,11)

dias1: hp5: habilidad de permanencia a los 5 años; exito3: éxito de tener tres partos consecutivos; dias1: días al primer parto; dvp: días de vida productiva; preg2: éxito de preñez al segundo parto; (\*) valores no significativos

La contribución de la respuesta directa a la respuesta total resultó significativa (distinta de 0), tanto si se selecciona con una intensidad de 1 o 0,4, correspondiente a una selección del 5 o 50% de los toros superiores, y asumiendo no selección en hembras. La selección indirecta usando toda la información disponible hace una importante contribución (45%).

Se obtuvo una respuesta correlacionada favorable para dvp, exito3 y preg2, salvo para dias1, cuando se selecciona por hp5.

El Cuadro 6 muestra la respuesta total a la selección cuando seleccionamos por exito3 descompuesta en sus componentes directos e indirectos. Se calculó además la respuesta correlacionada en dias1, hp5, dvp, y preg2 al seleccionar por exito3.

Cuadro 6. Media posterior (HPD95) de la respuesta a la selección multivariada cuando se selecciona por exito3, asumiendo una intensidad de 1 o 0,4.

Selección por exito3		
intensidad	1,0	0,4
Directa	0,26 (0,18; 0,35)	0,10 (0,07; 0,14)
Indirecta	0,24 (0,16; 0,32)	0,10 (0,06; 0,13)
Total	0,50 (0,35; 0,66)	0,20 (0,14; 0,26)
Respuesta correlacionada en		
dias1	-2,01 (-2,82; -1,27)	-0,8 (-1,10; -0,50)
hp5	0,08 (0,02; 0,14)	0,03 (0,00; 0,05)*
dvp	0,01 (0,00; 0,03)*	0,0 (0,00; 0,01)*
preg2	0,22 (0,16; 0,29)	0,09 (0,06; 0,12)

dias1: hp5: habilidad de permanencia a los 5 años; exito3: éxito de tener tres partos consecutivos; dias1: días al primer parto; dvp: días de vida productiva; preg2: éxito de preñez al segundo parto; (\*) valores no significativos

Cuando la selección se realiza por exito3, la respuesta directa también resulta ser significativa en relación a la respuesta total, y la selección indirecta usando toda la información disponible, contribuye en un 48%. Se obtiene una respuesta correlacionada favorable en dias1, hp5 y preg2, salvo para dvp en donde no se obtiene una respuesta significativa. La respuesta en dias1 y preg2 al seleccionar por exito3, es una respuesta favorable para mejorar la eficiencia reproductiva de las vacas a través de la disminución de los días al primer parto y el éxito de preñez al segundo parto.

El Cuadro 7 muestra la respuesta total a la selección cuando seleccionamos por preg2, descompuesta en sus componentes directos e indirectos. Se calculó además la respuesta correlacionada en dias1, hp5, dvp, y exito3 al seleccionar por preg2.

Cuadro 7. Media posterior (HPD95) de la respuesta a la selección multivariada cuando se selecciona por preg2, asumiendo una intensidad de 1 o 0,4

Selección por preg2		
intensidad	1,0	0,4
Directa	0,27 (0,18; 0,36)	0,11 (0,08; 0,14)
Indirecta	0,20 (0,14; 0,27)	0,08 (0,05; 0,11)
Total	0,47 (0,34; 0,62)	0,19 (0,13; 0,25)
Respuesta correlacionada en		
dias1	-2,00 (-2,84; -1,26)	-0,80 (-1,10; -0,50)
hp5	0,08 (0,02; 0,14)	0,03 (0,00; 0,05)*
dvp	0,01 (0,00; 0,03)*	0,00 (0,00; 0,01)*
exito3	0,22 (0,15; 0,29)	0,09 (0,06; 0,12)

dias1: hp5: habilidad de permanencia a los 5 años; exito3: éxito de tener tres partos consecutivos; dias1: días al primer parto; dvp: días de vida productiva; preg2: éxito de preñez al segundo parto; (\*) valores no significativos

La respuesta directa a la selección por preg2 en relación a la repuesta total resultó significativa. En este caso, la selección indirecta representa un menor porcentaje del total si la comparamos con la selección por hp5 o exito3, representando un 42%.

Se obtuvo respuesta correlacionada en días1, hp5 y exito3 al seleccionar por preg2, pero no así en dvp.

## 2.6 DISCUSIÓN

El mejoramiento genético de las razas de vacunos de carne ha estado tradicionalmente centrado en características de crecimiento, pero aspectos reproductivos y de longevidad merecen ser considerados. Altas tasas reproductivas en un rodeo vacuno están directamente relacionadas con una mayor rentabilidad de la producción de carne, en tanto el aumento de la longevidad también permitiría aumentar las ganancias económicas del rodeo de cría.

En Uruguay, falta información de estimación de parámetros genéticos en características de longevidad, y su asociación con otros rasgos reproductivos en ganado de carne. Por lo tanto, las estimaciones de heredabilidades y correlaciones fenotípicas y genéticas son relevantes

para evaluar su posible inclusión en los programas de mejoramiento genético de las principales razas de carne de nuestro país, y fueron los objetivos de este trabajo.

### 2.6.1 Rasgos de longevidad

La estimación de heredabilidad para *dvp* fue baja (0,07) y se encuentra dentro de los valores encontrados en la literatura (0,03-0,22) <sup>(19,3)</sup>. El valor obtenido en este estudio es similar al reportado por <sup>(2)</sup> de 0,08, y menor al obtenido por Tanida et al. <sup>(10)</sup> y Mello et al. <sup>(20)</sup> de 0,16 y 0,22, respectivamente, utilizando un modelo lineal para el análisis. Díaz et al. <sup>(21)</sup> reportaron menores valores de heredabilidad para días de vida productiva utilizando un modelo de sobrevivencia.

Para *hp5* el valor de heredabilidad fue bajo (0,11), y similar al obtenido por Van Melis et al. <sup>(22)</sup> de 0,10, y Fennewald et al. <sup>(23)</sup> de 0,12, utilizando para el análisis un modelo umbral, mientras que Forabosco <sup>(2)</sup> usando el modelo de sobrevivencia obtuvo valores similares al estimado en este trabajo. Los resultados de la literatura muestran que el rango de heredabilidades para esta característica utilizando un modelo umbral (0,03-0,38) son mayores a las obtenidas utilizando un modelo lineal (0,09-0,15) o un modelo de sobrevivencia (0,09 a 0,11), con la excepción de los resultados reportados por Martínez et al. <sup>(8)</sup>, donde utilizando un modelo lineal transformado obtuvieron valores de heredabilidad para habilidad de permanencia entre 0,09 y 0,30. Ducrocq et al. <sup>(24)</sup> señalan que los modelos no lineales pueden tener una mejor capacidad de detectar las variaciones genéticas de rasgos binarios que los modelos lineales. El modelo umbral estaría modelando mejor la variabilidad genética para esta característica.

Entre días de vida productiva y habilidad de permanencia a los 5 años se obtuvo una correlación genética favorable y alta (0,79). En la literatura no se encontraron trabajos que evaluaran la asociación entre estas variables, pero sí trabajos que estimaron correlaciones genéticas entre registros de días de vida productiva y entre registros de habilidad de permanencia, con valores entre 0,61 y 1,0 <sup>(9,3,10)</sup>. Van der Westhuizen et al. <sup>(4)</sup> estimaron correlaciones genéticas bajas entre registros de habilidad de permanencia (0,01-0,22), pero son una excepción a los resultados que reportan la mayoría de los trabajos encontrados en la literatura.

La correlación fenotípica entre *dvp* y *hp5* (0,96) concuerda con lo reportado por Larracharte <sup>(25)</sup>, que estimó para estas dos variables una asociación fenotípica muy significativa. La fuerte asociación entre *dvp* y *hp5* es producto del tipo de relación entre estas dos variables, dado que *hp5* está incluida dentro de la definición de *dvp* como un todo. Son medidas equivalentes para evaluar la vida productiva de las vacas, y debido a la importante asociación entre estas características, se podrían usar indistintamente para seleccionar aquellos animales que permanezcan en producción por más tiempo en el rodeo <sup>(26,3,27)</sup>.

### 2.6.2 Rasgos reproductivos

Como se mencionó anteriormente, los rasgos reproductivos tienen una importancia económica significativa para los establecimientos ganaderos. Sin embargo, son rasgos de baja heredabilidad, algunos se expresan tarde en la vida del animal, y en muchos casos no existe una base de datos que incluyan todos los eventos que ocurren en la vida del animal <sup>(28)</sup>.

La estimación de heredabilidad para *dias1* fue baja, y se aproxima a los valores reportados por Smith et al. <sup>(29)</sup> de  $0,09 \pm 0,13$  y Johnston y Bunter <sup>(30)</sup> de 0,10. En este trabajo no se incluyeron los registros de vacas que fallaron en el primer parto, debido a que no se conocen las razones de refugio. Urioste et al. <sup>(13)</sup> resaltan la importancia de incluir en las evaluaciones los datos de vacas que fallaron al parto para hacer un mejor uso de los datos disponibles para habilidad reproductiva, ya que esas vacas podrían haber parido si se les proporciona el tiempo suficiente. La no consideración de este tipo de datos (datos censurados) podría generar deficiencias en la estimación de parámetros genéticos.

Para *preg2* el valor de heredabilidad fue de magnitud media (0,24), y menor a los estudios preliminares reportados por <sup>(13)</sup> de 0,40, en Aberdeen Angus. Meyer et al. <sup>(31)</sup> y Johnston y Bunter <sup>(30)</sup> estimaron heredabilidades menores a las estimadas en este trabajo, de 0,02, y 0,11, respectivamente, utilizando modelos lineales.

*Exito3* presentó un valor de heredabilidad medio (0,23), similar al estimado por Van Melis et al. <sup>(22)</sup> de 0,25 para una medida de habilidad de permanencia, definida como una vaca que parió todos los años hasta los 5 años de edad. Venot et al. <sup>(26)</sup> evaluaron la vida productiva de la vaca medida por el número de partos hasta los 78 y 150 meses de edad, medida similar a

exitos, para la cual estimaron una heredabilidad de 0,04 y 0,06, respectivamente, valores menores al obtenido en este trabajo.

La correlación genética entre días al parto y éxito al parto fue favorable (negativa) y alta (-0,73), y se encuentra dentro de los valores encontrados en la literatura de -0,54 a -0,91<sup>(13)</sup> y de -0,97<sup>(30)</sup>. La selección por menores días al parto conduciría a un aumento en el éxito al parto, con el beneficio de que días al parto es capaz de distinguir entre parición temprana y tardía<sup>(30)</sup>. En este trabajo se obtuvo una correlación fenotípica favorable y baja entre días al parto y éxito al parto, sin embargo, Larracharte<sup>(25)</sup> utilizando parcialmente la misma base de datos, reportó correlaciones fenotípicas no significativas entre estas dos variables.

Entre días al parto y éxito al parto la correlación genética fue favorable y alta (-0,67); no se encontró en la literatura trabajos que analizaran dicha asociación. En este trabajo la correlación fenotípica entre días al parto y éxito al parto resultó favorable y muy baja (-0,08) en comparación con un valor no significativo reportado previamente por Larracharte<sup>(25)</sup>.

La correlación genética entre éxito al parto y éxito al parto resultó favorable y muy alta (0,83); no puede ser comparada con valores de la literatura debido a que no se encontraron estudios que analizaran dicha asociación. La correlación fenotípica en estas dos características fue también favorable y alta (0,86) como en el trabajo de Larracharte<sup>(25)</sup>.

### 2.6.3 Asociación entre rasgos de longevidad y reproductivos

La correlación genética entre días al parto y éxito al parto fue favorable y baja (0,38), y se aproxima a lo reportado por<sup>(4)</sup> que estimaron una correlación genética entre habilidad de permanencia y éxito al parto entre 0,04 y 0,20 utilizando un modelo umbral. Se debe tener en cuenta que días al parto es una variable estimada, y no reportada por el criador.

La correlación genética entre días al parto y éxito al parto, fue favorable y media (0,45), y entre días al parto y días al parto no resultó significativa; no se encontraron en la literatura trabajos que analizaran la asociación entre días al parto y estas variables reproductivas.

La asociación genética entre días al parto y las variables días al parto, días al parto y éxito al parto no resultó significativa.

#### 2.6.4 Respuesta a la selección por hp5, exito3 o preg2

De modo exploratorio se evaluaron las consecuencias genéticas de la selección por hp5, exito3 o preg2. Los resultados mostraron que es posible lograr una respuesta a la selección por hp5, exito3 o preg2, resultando mayor la contribución de la respuesta directa a la respuesta indirecta. Los resultados muestran que ocurren cambios significativos en las demás variables (con excepción de dias1) al seleccionar por hp5, exito3 o preg2.

Cuando la selección se realiza por hp5, se obtuvo una respuesta correlacionada favorable en dvp, preg2 y exito3 (significativas). Si la selección se realiza por exito3, se obtuvo respuesta correlacionada en hp5 y preg2 (significativas). Lo mismo ocurre cuando la selección se realiza por preg2, obteniéndose una respuesta significativa en hp5 y exito3.

Las tres variables analizadas mostraron una respuesta favorable a la selección. Sin embargo, la selección por preg2 o exito3 sería más temprano en la vida del animal, obteniéndose además una respuesta favorable en hp5. En relación a esto, preg2 y exito3 presentan heredabilidades medias y se relacionan en forma favorable y media con los rasgos de longevidad.

## 2.7 CONCLUSIONES

Las estimaciones de heredabilidad para días de vida productiva y habilidad de permanencia a los 5 años fueron bajas, y dentro del rango de valores encontrados en la literatura para ganado de carne.

La asociación genética entre días de vida productiva y habilidad de permanencia a los 5 años resultó favorable y alta. Habilidad de permanencia a los 5 años, a pesar de que no tiene en cuenta el total de vida productiva de la vaca, puede ser un criterio de selección adecuado ya que se puede medir más temprano en la vida del animal comparado a días de vida productiva.

Las características reproductivas mostraron heredabilidades bajas (dias1) a medias (preg2 y exito3). Se encontraron correlaciones genéticas favorables altas de dias1 con preg2 y exito3,

y muy alta entre *preg2* y *exitos3*. Estas estimaciones deben ser revisadas cuando se cuente con informes adecuados del total del rodeo.

Las correlaciones genéticas entre rasgos de longevidad y reproductivas fueron variables; *hp5* se correlacionó favorablemente con *preg2* y *exitos3*, no resultando significativa la asociación con *dias1*. Por otro lado, *dvp* no se correlacionó en forma significativa con ninguna de las variables reproductivas analizadas.

De las variables de longevidad analizadas, *hp5* resultó la que mostró una asociación favorable con *preg2* y *exitos3*. La selección directa por *hp5* mostró una respuesta significativa, obteniéndose además una respuesta correlacionada favorable en *preg2* y *exitos3*.

Para *dias1* se obtuvo un bajo valor de heredabilidad, y no se asoció en forma significativa con las variables de longevidad analizadas. Estos resultados sugieren que no existiría ningún beneficio del uso de esta variable como criterio temprano de selección para mejorar la longevidad de las vacas de cría.

Las estimaciones de respuestas logradas bajo diferentes enfoques sugieren que es posible lograr cambios favorables en las características de longevidad y reproducción.

## 2.8 BIBLIOGRAFÍA

1. **Balieiro JCC, Eler JP, Ferraz JBS, Mattos EC, Balieiro CC.** Genetic parameters for productive life traits and reproductive efficiency traits at 6 years in Nellore cattle. *Genet. Mol. Res.* 2008; 7 (4): 1312-1318.
2. **Forabosco F. 2005.** Breeding for longevity in Italian Chianina cattle. Doctoral thesis. Wageningen, The Netherlands. Wageningen University, 162 p.
3. **Martínez GE, Koch RM, Cundiff LV, Gregory KE, Van Vleck LD.** Genetic parameters for six measures of length of productive life and three measures of lifetime production by 6 yr after calving for Hereford cows. *J. Anim. Sci.* 2004; 82:1912-1918.
4. **Van der Westhuizen RR, Schoeman SJ, Jordaan GF, Van Wyk JB.** Heritability estimates derived from threshold analyses for reproduction and stayability traits in a beef cattle herd. *J. Anim. Sci.* 2001; 31(1): 25-32.
5. **Dákay I, Márton D, Keller K, Fordos A, Torok M, Szabó F.** The age at first calving at the longevity of beef cows in Hungary. *J. Cent. Europ. Agric.* 2006; 3: 377-388.
6. **Van Melis MH, Olivera HN, Eler JP, Ferraz JBS, Casellas J, Varona L. 2010.** Additive genetic relationship of longevity with fertility and production traits in Nellore cattle based on bivariate models. *Genet. Mol. Res.* 2010; 9: 176-187.
7. **Buzanskas ME, Grossi DA, Baldi F, Barrozo D, Silva LOC, Torres Júnior RAA, Munari DP, Alencar MM.** Genetic associations between stayability and reproductive and growth traits in Canchim beef cattle. *Liv. Prod. Sci.* 2010; 132:107-112.
8. **Martínez GE, Koch RM, Cundiff LV, Gregory KE, Van Vleck LD.** Genetic parameters for stayability at calving, and stayability at weaning to specified age for Hereford cows. *J. Anim. Sci.* 2005; 83:2033-2042.
9. **Jamrozik J, McGrath S, Kemp, RA, Miller, SP.** Estimates of genetic parameters for stayability to consecutive calvings of Canadian Simmentals by random regression models. *J. Anim. Sci.* 2013; 91: 3634-3643.

10. **Tanida H, Hohenboken HD, Denise SK.** Genetic aspects of longevity in Angus and Hereford cows. *J. Anim. Sci.* 1988; 66: 640-647.
11. **Pravia MI, Ravagnolo O, Urioste JI, Garrick DJ.** Identification of breeding objectives using a bioeconomic model for a beef cattle production system in Uruguay. *Liv. Prod. Sci.* 2014; 160:21-28.
12. **Beckman DW, Speidel SE, Brigham BW, Garrick DJ, Enns RM. Genetic parameters for stayability and body condition score in beef females.** *Amer. Soc. Anim. Sci.* 2006; 57: 93-95.
13. **Urioste JI, Misztal I, Bertrand JK.** Fertility traits in spring-calving Aberdeen Angus cattle. 1. Model development and genetic parameters. *J. Anim. Sci.* 2007; 85: 2854-2860.
14. **R Development Core Team. 2009.** R: A Language and Environment for Statistical Computing, en R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. ISBN 3–900051–07–0, URL <https://www.r-project.org/>
15. **Gianola D, Foulley JL.** Sire evaluation for ordered categorical data with a threshold model. *Genet. Selec. Evolut.* 1983; 15: 201-223.
16. **Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH.** BLUPF90 and related programs (BGF90). In: 7th World Congress on Genetic Applied to Livestock Production, 19-23. 7th World Congress on Genetic Applied to Livestock Production; August, 2002, Montpellier, France. Session 28, Software information technology and bioinformatics. Communication N° 28-07.
17. **Smith BJ. 2007.** Boa: An R package for MCMC output convergence assessment and posterior inference.
18. **Walsh B. 2008. Multivariate Response: Changes In Means [On line].** Accessed July 2018. Available at: <http://nitro.biosci.arizona.edu/workshops/Wag2010/pdf/Chapter30.pdf>

19. **Baldi F, Mello de Alencar M, Ribeiro de Freitas A, Taveira Barbosa R.** Parâmetros genéticos para características de tamanho e condição corporal, eficiência reprodutiva e longevidade em fêmeas da raça Canchim. *Rev. Bras. Zoot.* 2008a; 37 (2): 247-253.
20. **Mello SP, Alencar MM, Santos DCC, Toral FLB.** Análise genética de características de fertilidade, de crescimento e de produtividade em vacas da raça Canchim. *Arq. Bras. Med. Vet. Zoot.* 2014; 66 (2): 555-562.
21. **Díaz C, Chirinos Z, Moreno A, Carabaño MJ.** Preliminary analysis for 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. 2002; s.e. pp. 1-4.*
22. **Van Melis MH, Eler JP, Olivera HN, Rosa GJM, Silva II JAV, Ferraz JBS, Pereira E.** Study of stayability in Nelore cows using a threshold model. *J. Anim. Sci.* 2007; 85:1780-1786.
23. **Fennewald DJ, Weaber RL, Lamberson, WR.** Genotype by environment interaction for stayability of Red Angus in the United States. *J. Anim. Sci.* 2018; 96: 422-429.
24. **Ducrocq V, Quaas RL, Pollak EJ, Casella G.** Length of productive life of dairy cows. 2. Variance component estimation and sire evaluation. *J. Dairy Sci.* 1988; 71: 3071-3079.
25. **Larracharte A.** Asociaciones entre longevidad y caracteres de reproducción y crecimiento en Ganado Aberdeen Angus. Facultad de Agronomía. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. 2015, 90 p.
26. **Venot E, Schneider P, Miller S, Aignel M, Barbat M, Ducrocq V, Phocas F.** New French genetic evaluation of fertility and productive life of beef cows. *Interb. Bullet.* 2013; 47: 211-216.

- 27. Phocas F, Bloch C, Chapelle P, Be'cherel F, Renand G, Menissier F.** Developing a breeding objective for a French purebred beef cattle selection programme. *Liv. Prod. Sci.* 1998; 57:49–65.
- 28. Smith BA, Brinks JS, Richardson GV.** Estimation of genetic parameters among reproductive and growth traits in yearling heifers. *J. Anim. Sci.* 1989; 67 (11): 2881-2885.
- 29. Cammack KM, Thomas MG, Enns RM.** Review; Reproductive traits and their heritabilities in beef cattle. *Profess. Anim. Scient.* 2009; 25: 517-528.
- 30. Johnston DJ, Bunter KL.** Days to calving in Angus cattle; genetic and environmental effects, and covariances with other traits. *Liv. Prod. Sci.* 1996; 45 (1): 13 - 22.
- 31. Meyer K, Hammond K, Parnell PF, Mackinnon MJ, Sivarajasingam S. 1990.** Estimates of heritability and repeatability for reproductive traits in Australian beef cattle. *Liv. Prod. Sci.* 1990; 25: 15-30.

### **3. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES**

En ganado de carne, la longevidad es un rasgo determinante de los resultados económicos de las empresas agropecuarias (Phocas et al., 1998; Forabosco, 2005; Van Melis et al., 2007). Una mejora en la longevidad en vacas de cría conduciría a aumentar la eficiencia del rodeo, reduciendo la tasa de reposición anual de hembras y aumentando el número de terneros producidos por vaca en su vida útil (Forabosco, 2005; Van Melis et al., 2010a).

Históricamente, la evaluación genética de la longevidad y su incorporación en los programas de mejoramiento genético en ganado de carne se ha visto obstaculizada por tres factores: i) se demora tiempo en disponer de la información completa de la característica, ii) no existe una forma común de definir el rasgo y de analizar los datos fenotípicos recolectados, y iii) falta información con respecto a estimaciones de parámetros genéticos (Forabosco, 2005).

En Uruguay no existen estudios previos de estimación de parámetros genéticos en características de longevidad ni de su asociación con rasgos reproductivos. Una primera aproximación en lo que refiere a longevidad en ganado de carne en Uruguay fue realizada por Larracharte (2015), en donde las variables días de vida productiva y habilidad de permanencia a los 5 años mostraron alta asociación, así como importante variación fenotípica entre y dentro establecimientos. Se encontró además que el número de partos, éxito al segundo parto, éxito de tener tres partos consecutivos, días al parto y edad al primer parto mostraron una asociación fenotípica significativa con las variables de longevidad.

La mayoría de los trabajos a nivel internacional, resumidos en los Cuadros 1 y 2 del Capítulo 1 de la presente tesis, han reportado bajos valores de heredabilidad para las características de longevidad. Las heredabilidades encontradas en la literatura utilizando modelos lineales, umbrales o de sobrevivencia, varían en rangos de 0,04-0,25, 0,03-0,38, y 0,03-0,11, respectivamente, obteniéndose mayores valores cuando se utilizan modelos umbrales. Entre variables de longevidad se encontraron en general correlaciones favorables y de magnitud media a alta (Cuadro 3 del capítulo 1 de esta tesis). Las asociaciones genéticas de los caracteres de longevidad con otros rasgos son muy variables (ver Cuadros 4 y 5 del Capítulo 1 de la presente tesis), dependiendo principalmente del número de registros y de los métodos de análisis utilizados.

En función de estos antecedentes, este trabajo tuvo como objetivos la estimación de parámetros genéticos en días de vida productiva y habilidad de permanencia a los 5 años, asociaciones genéticas entre éstas y otras variables reproductivas, con el fin de evaluar su posible inclusión en futuros programas de mejoramiento genético.

Nuestro estudio (Capítulo 2 de la tesis) fue realizado con un número de datos superior a la mayoría de los estudios consultados, y con un grado alto de precisión en las estimaciones de parámetros, reflejado en un tamaño efectivo de muestras de 531 a 951 para estimaciones de heredabilidad, y de 332 a 678 para estimaciones de correlaciones genéticas. Los resultados sugieren la existencia de heredabilidades bajas (0,07-0,11) para las características de longevidad en ganado Aberdeen Angus en nuestro país, coincidiendo con los hallazgos generales de la literatura. Se encontró además una importante asociación fenotípica (0,96) y genética (0,79) entre estos rasgos, igualmente coincidentes con otros estudios (por ejemplo, Martínez et al., 2004; Forabosco, 2005).

Las heredabilidades para las características reproductivas fueron de bajas (días1, 0,07) a medias (preg2 y exito3, 0,21 y 0,23 respectivamente), y coinciden con revisiones previas de estas características (por ejemplo, Cammack et al., 2009). Para la variable exito3 no se encontraron definiciones en la literatura. Una aproximación a ésta fue definida por Van Melis et al. (2007) con la habilidad de permanencia definida como una vaca que pare hasta los 5 años de edad, dado que se le dio la oportunidad de reproducirse, para la cual estimaron una heredabilidad de 0,25, valor semejante a la estimación de 0,21 obtenida para exito3 en el presente trabajo.

Con respecto a las correlaciones genéticas entre características reproductivas, las estimaciones fueron favorables y altas entre días1, preg2 y exito3. Johnston y Bunter (1996) señalan que la selección por menores días al parto conduciría a un aumento en el éxito al siguiente parto, con el beneficio de que días al parto es capaz de distinguir entre parición temprana y tardía. Estos mismos autores encontraron una correlación genética favorable y alta (-0,97) entre días al parto y éxito al parto, valor superior al estimado en este trabajo (-0,73).

De las variables de longevidad analizadas, sólo hp5 mostró una asociación favorable con preg2 y exito3. No se encontraron en la literatura trabajos que evaluaran la asociación entre estas variables y que permitan hacer una comparación con los valores estimados en este trabajo. Dias1 no se asoció en forma significativa con ningún rasgo de longevidad, sugiriendo que no existiría ningún beneficio del uso de esta variable como criterio temprano de selección para mejorar la longevidad de las vacas de cría.

Un aporte original de la presente tesis es la obtención de estimaciones multivariadas de respuesta a la selección. No se han encontrado trabajos que evalúen el impacto de la selección por características de longevidad o reproductivas. La variable habilidad de permanencia a los 5 años, a pesar de que no tiene en cuenta el total de vida productiva de la vaca, se consideró como un criterio de selección adecuado, ya que se puede medir más temprano en la vida del animal que la variable Días de vida productiva. En el ejercicio desarrollado en este trabajo, se obtuvo una respuesta significativa en la propia característica (hp5) si se selecciona con suficiente intensidad, obteniéndose además una respuesta correlacionada favorable en dvp, exito3 y preg2.

Cuando la selección se realizó por preg2 o exito3, se obtuvo una respuesta directa significativa, y una respuesta correlacionada favorable en hp5, dias1 y exito3 o preg2, respectivamente. Esto significa que si seleccionamos toros con que tengan éxito de preñez al segundo parto o que tengan éxito de tener tres partos consecutivos, vamos a estar seleccionando indirectamente vacas que a los 5 años estén presentes en el rodeo. La selección por una de estas dos variables reproductivas sería más precisa que la selección por hp5, debido a sus mayores valores de heredabilidad.

Si bien el registro de hp5 es más sencillo de tomar (presencia o ausencia del animal en el rodeo), exito3 considera la productividad de la vaca (debe haber tenido 3 partos consecutivos). Esta variable permitiría al productor además, seleccionar por fertilidad.

Futuros estudios podrían perfeccionar este procedimiento de estimación de las consecuencias de la selección, considerando por ejemplo distintos tamaños de grupos de progenie que aseguren una respuesta positiva.

La base de datos utilizada no fue diseñada específicamente para este tipo de estudios. No aporta información explícita sobre terneros muertos, fallas reproductivas de las madres o información sobre causas de refugio de las vacas. El registro de terneros no es completo, debido a que no todos los terneros y terneras son inscriptos en los registros genealógicos, y por lo tanto no están disponibles la información de partos de sus madres. Una mejora en la calidad de los datos, a través del registro de las fechas de servicio, toros y tipo de servicio usado, estado de preñez en vaquillonas y vacas, fecha de entrada y salida, resultado final de toda la estación de servicio (incluso si las preñeces finalmente no se confirman), y códigos de abandono del rodeo de cría, mejorarían las estimaciones (Urioste, 2008). En ese sentido, el SRGen, programa desarrollado por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) apunta al reporte total del rodeo a través del seguimiento productivo y reproductivo detallado de las vacas a lo largo de toda su vida (Lema et al., 2013). A pesar de estas limitaciones, se considera que el estudio aporta información relevante sobre las características consideradas.

En cuanto a la cantidad de los datos utilizados, se contó con registros de 10517 vacas, valor superior a la cantidad de registros utilizados en la mayoría de los trabajos encontrados en la literatura, con la excepción de algunos estudios en donde los registros fueron superiores (Forabosco, 2005; Buzanskas et al., 2010; Van Melis et al., 2010a).

A su vez, la estructura genealógica de los datos permitió estimar con buena precisión parámetros genéticos para las características de longevidad y reproductivas. En esta base genealógica, el 80% de los animales incluidos presentan registro de padre y madre. Una posible limitación del trabajo es la falta de consideración específica de registros censurados tal cual se analizan en los análisis de supervivencia (Sölkner y Ducroq, 1999); más allá de considerarlos como datos faltantes e incluirlos en el análisis. Por definición, días de vida productiva contabiliza los días que transcurren desde el primer al último parto de una vaca, pero los registros de la base de datos son incorporados anualmente, por lo que al momento de analizar la base de datos existían animales en producción.

El tiempo que una vaca permanece en el rodeo no sólo está relacionado con la precocidad sexual y la fertilidad. Dickerson (1970) señala que vacas más eficientes presentan una edad menor a la pubertad, mayores tasas reproductivas, mayor longevidad, menores requerimientos de mantenimiento, y una mejor capacidad para convertir la energía disponible

en más kg de terneros destetados. El uso de un índice que incluya la productividad de las vacas sería más ventajoso que evaluar sólo la longevidad (Santana et al., 2013).

La asociación genética entre longevidad, características de crecimiento y condición corporal presentan inconsistencias en la literatura relevada (Cuadros 4 y 5 del Capítulo 1 de la presente tesis), desde correlaciones desfavorables con peso al destete, peso al primer parto, peso al año, peso adulto y condición corporal (Beckman et al, 2006; Baldi et al., 2008a; Mello et al., 2014), hasta favorables con peso a destete, ganancia post-destete, peso al año y condición corporal (Mwansa et al., 2002; Baldi et al., 2008a; Santana et al., 2013) (Cuadros 4 y 5). Otros autores informan correlaciones favorables con edad al primer parto, preñez en vaquillonas, éxito al parto y circunferencia escrotal (Buzanskas et al., 2010; Van Melis et al., 2010a).

Debido a que en nuestro país aún no se han realizado investigaciones en esta línea, sería conveniente que futuros estudios evalúen asociaciones genéticas entre rasgos de longevidad y reproductivos con otros caracteres como peso o tamaño de la vaca, condición corporal, con el fin de conocer las consecuencias sobre el sistema.

En resumen: los principales resultados de este trabajo fueron las estimaciones de parámetros genéticos para  $dvp$ ,  $hp5$ ,  $dias1$ ,  $preg2$  y  $exito3$ . La respuesta a la selección multivariada sugiere respuestas positivas a la selección por estos caracteres. Para su incorporación en índices de selección, será necesario calcular los valores económicos asociados a cada variable.

En función de esto, los resultados obtenidos constituyen un primer paso para la estimación de dichos valores económicos y la evaluación de su posible incorporación en los programas de mejoramiento genético nacional.

#### **4. BIBLIOGRAFÍA**

**AHA, USA.** s.f. (en línea). Kansas, Misuri, American Hereford Association. Consultado may. 2018. Disponible en <https://hereford.org/>

**ASA, USA.** s.f. (en línea). Kansas, Misuri, American Shorthorn Association. Consultado may. 2018. Disponible en <https://shorthorn.org/>

**Baldi F, Mello de Alencar M, Ribeiro de Freitas A, Taveira Barbosa R. 2008a.** Parâmetros genéticos para características de tamanho e condição corporal, eficiência reprodutiva e longevidade em fêmeas da raça Canchim. Revista Brasileira de Zootecnia, 37 (2): 247-253.

**Baldi F, Mello de Alencar M, Ribeiro de Freitas A. 2008b.** Correlações genéticas de características de tamanho corporal e condição corporal com características de eficiência produtiva de fêmeas da raça Canchim. Revista Brasileira de Zootecnia, 37 (3): 420-426.

**Balieiro JCC, Eler JP, Ferraz JBS, Mattos EC, Balieiro CC. 2008.** Genetic parameters for productive life traits and reproductive efficiency traits at 6 years in Nelore cattle. Genetic and Molecular Research, 7 (4): 1312-1318.

**Beckman DW, Speidel SE, Brigham BW, Garrick DJ, Enns RM. 2006.** Genetic parameters for stayability and body condition score in beef females. American Society of Animal Science, 57: 93-95.

**Buzanskas ME, Grossi DA, Baldi F, Barrozo D, Silva LOC, Torres Júnior RAA, Munari DP, Alencar MM. 2010.** Genetic associations between stayability and reproductive and growth traits in Canchim beef cattle. Livestock Science, 132: 107-112.

**Cammack KM, Thomas MG, Enns RM. 2009.** Review; Reproductive traits and their heritabilities in beef cattle. The Professional Animal Scientist, 25: 517-528.

- Dákay I, Márton D, Keller K, Fordos A, Torok M, Szabó F. 2006.** The age at first calving at the longevity of beef cows in Hungary. *Journal of Central European Agriculture*, 3: 377-388.
- Dekkers JCM. 1993.** Theoretical basis for genetic parameters of herd life and effects on response to selection. *Journal of Dairy Science*, 76:1433-1443.
- Díaz C, Chirinos Z, Moreno A, Carabaño MJ. 2002.** Preliminary analysis for 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, s.e. pp. 1-4.*
- 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.
- Ducrocq V, Quaas RL, Pollak EJ, Casella G. 1988.** Length of productive life of dairy cows. 2. Variance component estimation and sire evaluation. *Journal of Dairy Science*, 71: 3071-3079.
- Fennewald DJ, Weaber RL, Lamberson, WR. 2018.** Genotype by environment interaction for stayability of Red Angus in the United States. *Journal of Animal Science*, 96: 422- 429.
- Forabosco F. 2005.** Breeding for longevity in Italian Chianina cattle. Doctoral thesis. Wageningen, The Netherlands. Wageningen University, 162 p.
- Formigoni IB, Ferraz JBS, Silva JAIB, Eler JP, Brumatti RP. 2005.** Valores económicos para habilidad de permanencia y probabilidad de preñez a los 14 meses en bovinos de carne. *Archivo Brasileiro de Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 57 (2): 220-226.
- Gianlorenco VK, Alencar MM, Toral FLB, Mello SP, Freitas AR, Barbosa PF. 2003.** Herdabilidades e Correlações Genéticas de Características de Machos e Fêmeas, em um Rebanho Bovino da Raça Canchim. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32 (6): 1587- 1593.

- Gianola D, Foulley JL. 1983.** Sire evaluation for ordered categorical data with a threshold model. *Genetics Selection Evolution*, 15: 201-223.
- Henderson CR. 1973.** Maximum likelihood estimation of variance components. Ithaca, United States of America. Cornell University. Department of Animal Science, 1485 p.
- Jamrozik J, McGrath S, Kemp, RA, Miller, SP. 2013.** Estimates of genetic parameters for stayability to consecutive calvings of Canadian Simmentals by random regression models. *Journal of Animal Science*, 91: 3634-3643.
- Johnston DJ. 2014.** Genetic improvement of reproduction in beef cattle. En: 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production. Communication (10<sup>th</sup>., 2014, Vancouver, Canada). Vancouver, Canada. 6 p.
- Johnston DJ, Bunter KL. 1996.** Days to calving in Angus cattle; genetic and environmental effects, and covariances with other traits. *Livestock Production Science*, 45 (1): 13–22.
- Larracharte A. 2015.** Asociaciones entre longevidad y caracteres de reproducción y crecimiento en Ganado Aberdeen Angus. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, 90 p.
- Lema M, Ravagnolo O, Soarea de Lima, JM. 2013.** Avances en herramientas de selección para la cría (en línea). Montevideo, Uruguay, INIA. Serie Técnica INIA N° 208, p 27-39. Consultado 15 abril de 2018. Disponible en [http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/st%20208\\_2013.pdf](http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/st%20208_2013.pdf)
- Maiwashe A, Nephawe KA, Theron HE. 2009.** Analysis of stayability in South African Angus cattle using a threshold model. *South African Journal of Animal Science*, 39 (1): 55-60.
- Martínez GE, Koch RM, Cundiff LV, Gregory KE, Van Vleck LD. 2004.** Genetic parameters for six measures of length of productive life and three measures of lifetime production by 6 yr after calving for Hereford cows. *Journal of Animal Science*, 82:1912-1918.

- Martínez GE, Koch RM, Cundiff LV, Gregory KE, Van Vleck LD. 2005.** Genetic parameters for stayability at calving, and stayability at weaning to specified age for Hereford cows. *Journal of Animal Science*, 83:2033-2042.
- Mello SP, Alencar MM, Santos DCC, Toral FLB. 2006.** Estimativas de parâmetros genéticos para características de crescimento e produtividade em vacas da raça Canchim, utilizando-se inferência bayesiana<sup>1</sup>. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 1: 92-97.
- Mello SP, Alencar MM, Santos DCC, Toral FLB. 2014.** Análise genética de características de fertilidade, de crescimento e de produtividade em vacas da raça Canchim. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 66 (2): 555-562.
- Mercadante MEZ, Lobo RB, Borjas ADR, Oliveira HN. 1996.** Estudo genético de características indicadoras da vida útil de fêmeas de um rebanho da raça Nelore. En: *Simposio Nacional de Melhoramento Animal*, 1, Ribeirão Preto. Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal, p.260-262.
- Mercadante MEZ, Lobo RB, Oliveira HN. 2000.** Estimativas de (Co) Variâncias entre Características de Reprodução e de Crescimento em Fêmeas de um Rebanho Nelore<sup>1</sup>. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 4: 997-1004.
- 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.
- MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2017.** Anuario estadístico agropecuario 2017. Montevideo, Uruguay. 214 p.
- Misztal I, Tsuruta S, Strabel T, Auvray B, Druet T, Lee DH. 2002.** BLUPF90 and related programs (BGF90). In: *7th World Congress on Genetic Applied to Livestock Production*, 19-23. August, 2002, Montpellier, France. Session 28, Software information technology and bioinformatics. Communication N° 28-07.

- Moorad JA, Linksvayer TA. 2008.** Levels of selection on threshold characters. *Genetics*, 179 (2): 899-205.
- Mrode RA. 2013.** Linear models for the prediction of animal breeding values. 3rd Edition, Wallingford, UK, 343 p.
- Mwansa PB, Crews JrDH, Wilton JW. 2002.** Multiple trait selection for maternal productivity in beef cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 119: 391-399.
- NBCEC, USA.** s.f. Research. (en línea). Iowa State University, National Beef Cattle Evaluation Consortium. Consultado abr. 2018. Disponible en <http://www.nbcec.org/research/pollak.html>
- Phocas F, Bloch C, Chapelle P, Be´cherel F, Renand G, Menissier F. 1998.** Developing a breeding objective for a French purebred beef cattle selection programme. *Livestock Production Science*, 57:49–65.
- Pravia MI. 2010.** Desarrollo de objetivos e índices de selección en ganado para carne en Uruguay a través de un modelo bioeconómico. Tesis de Maestría. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, 132 p.
- 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.
- R Development Core Team. 2009.** R: A Language and Environment for Statistical Computing, en R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. ISBN 3 – 900051 – 07 – 0, URL <https://www.r-project.org/>
- Ravagnolo O, Lema M, Urioste JI, Pravia MI, Aguilar I, Calistro A. 2013.** Evaluaciones genéticas bovinas (en línea). Montevideo, Uruguay, INIA. s.p. Consultado 20 marzo. 2017. Disponible en <http://www.geneticabovina.com.uy/>
- Santana Jr ML, Eler JP, Bignardi AB, Ferraz JBS. 2013.** Genetic associations among average annual productivity, growth traits, and stayability: a parallel between Nelore and composite beef cattle. *Journal of Animal Science*, 91: 2566-2574.
- Smith BJ. 2007.** Boa: An R package for MCMC output convergence assessment and posterior inference.

- Smith BA, Brinks JS, Richardson GV. 1989.** Estimation of genetic parameters among reproductive and growth traits in yearling heifers. *Journal of Animal Science*, 67 (11): 2881-2885.
- Snelling WM, Golden BL, Bourdon RM. 1995.** Within-herd genetic analysis of stayability of beef females. *Journal of Animal Science*, 73: 993-1001.
- Sölkner J, Ducrocq V. 1999.** The survival kit; a tool for analysis of survival data. In: *International Workshop on Genetic Improvement on Functional Traits in Cattle (4th., 1999, s. I.)*. Communications. s.n.t. pp. 11-16.
- Tanida H, Hohenboken HD, Denise SK. 1988.** Genetic aspects of longevity in Angus and Hereford cows. *Journal of Animal Science*, 66: 640-647.
- Urioste JI, 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.
- Urioste JI. 2010.** Programas de mejoramiento genético animal en Uruguay: logros y desafíos futuros. *Agrociencia*, Uruguay, 3: 3-10.
- 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. *Journal of Animal Science*, 31(1): 25-32.
- Van Melis MH, Eler JP, Olivera HN, Rosa GJM, Silva II JAV, Ferraz JBS, Pereira E. 2007.** Study of stayability in Nellore cows using a threshold model. *Journal of Animal Science*, 85:1780-1786.
- Van Melis MH, Olivera HN, Eler JP, Ferraz JBS, Casellas J, Varona L. 2010.** Additive genetic relationship of longevity with fertility and production traits in Nellore cattle based on bivariate models. *Genetic and Molecular Research*, 9: 176-187.
- Venot E, Schneider P, Miller S, Aignel M, Barbat M, Ducrocq V, Phocas F. 2013.** New French genetic evaluation of fertility and productive life of beef cows. *Interbull Bulletin*, 47: 211-216.

**Vollema AR. 1998.** Selection for longevity in dairy cattle. Doctoral thesis. Wageningen, The Netherlands. Wageningen University. s.p.

**Walsh B. 2008.** Multivariate Response: Changes In Means [On line]. Accesed July 2018.  
Available at: <http://nitro.biosci.arizona.edu/workshops/Wag2010/pdf/Chapter30.pdf>

**Wright S. 1934.** An analysis of variability in number of digits in an inbred strain of guinea pigs.  
Genetics, 19: 506–536.

## 5. Anexos

Cuadro A1. Porcentaje (%) y número de registros (N) de una variable discreta en relación a otra variable discreta

Variable		Porcentaje (%)						N
		exito3			preg2			
		0	1	2	0	1	2	
hp5	0	61	29	10	56	19	25	6913
	1	0	90	10	0	27	73	1093
	2	0	67	33	0	51	49	2511
N		4200	4681	1636	3681	2873	3783	
exito3	0	----	----	----	92	1	7	4200
	1	----	----	----	0	60	40	4681
	2	----	----	----	0	0	100	1636
N		----	----	----	3681	2873	3783	

hp5: habilidad de permanencia a los 5 años (%); preg2: éxito de preñez al segundo parto (%); exito3: éxito de tener tres partos consecutivos (%).

El código "0" se utilizó para identificar datos faltantes (no se puede deducir del archivo si la vaca está presente o ausente), por ejemplo si es el último año de registro en un rodeo determinado.

Para hp5 el código "1" representa los registros de vacas que teniendo la oportunidad de estar presente en el rodeo a los 5 años no llegó, y "2" si estuvo presente a los 5 años. En el caso de preg2, el código "1" representa los registros de vacas que fallaron en su segundo parto, y "2" vacas que tuvieron éxito al segundo parto. El código "1" para exito3 representa vacas que no tuvieron sus primeros tres partos consecutivos, y "2" vacas que tuvieron tres partos consecutivos.

A continuación se presentan los gráficos de las distribuciones originales de las variables días al primer parto (dias1), días de vida productiva (dvp), habilidad de permanencia a los 5 años

(hp5), éxito de preñez al segundo parto (preg2) y éxito de tener tres partos consecutivos (exito3).

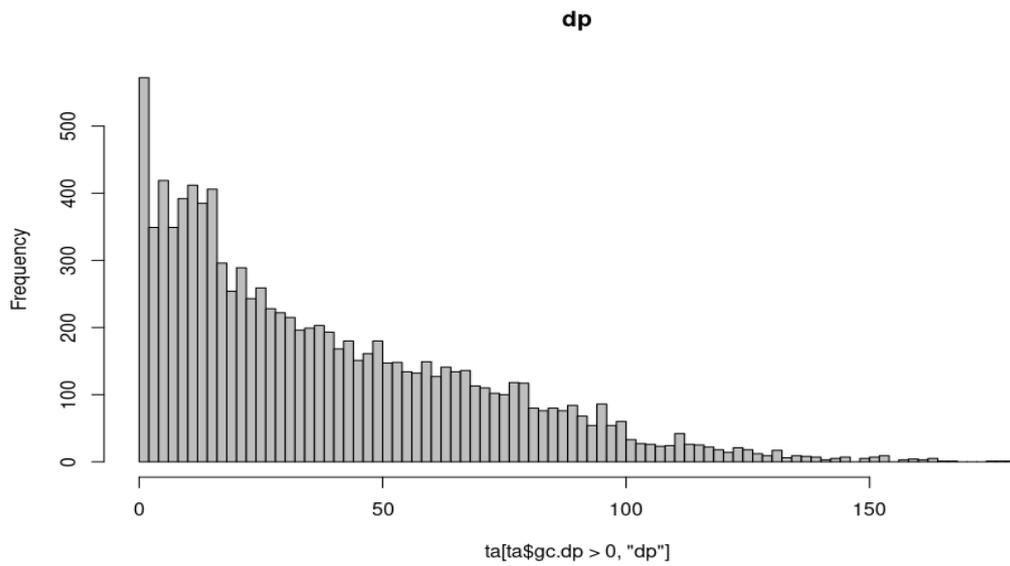


Gráfico A1. Distribución de dp (días al primer parto)

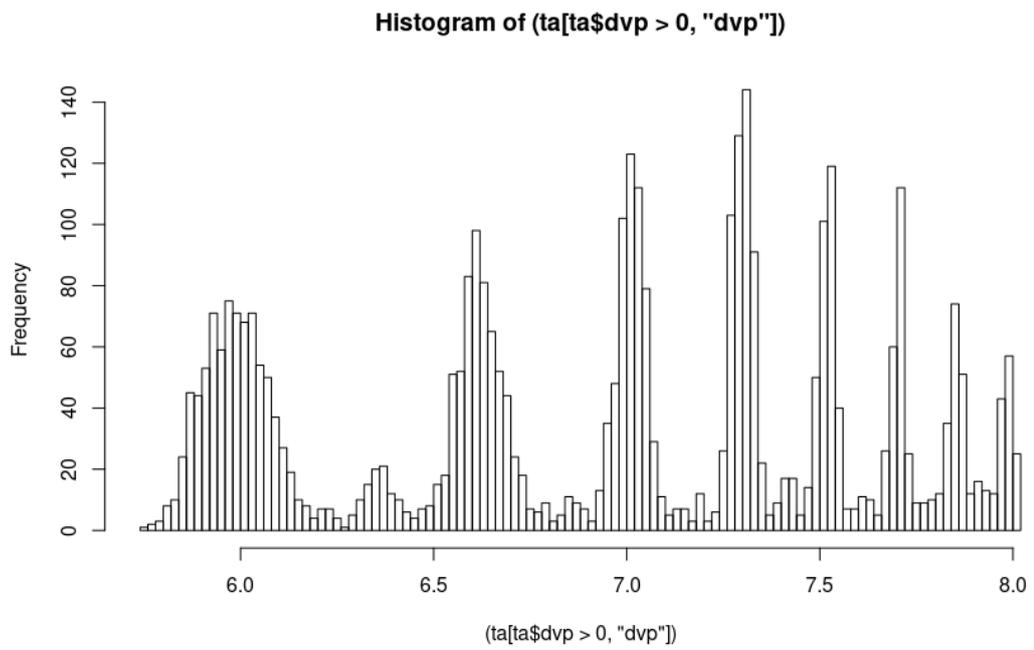


Gráfico A2. Distribución del logaritmo días de vida productiva (días)

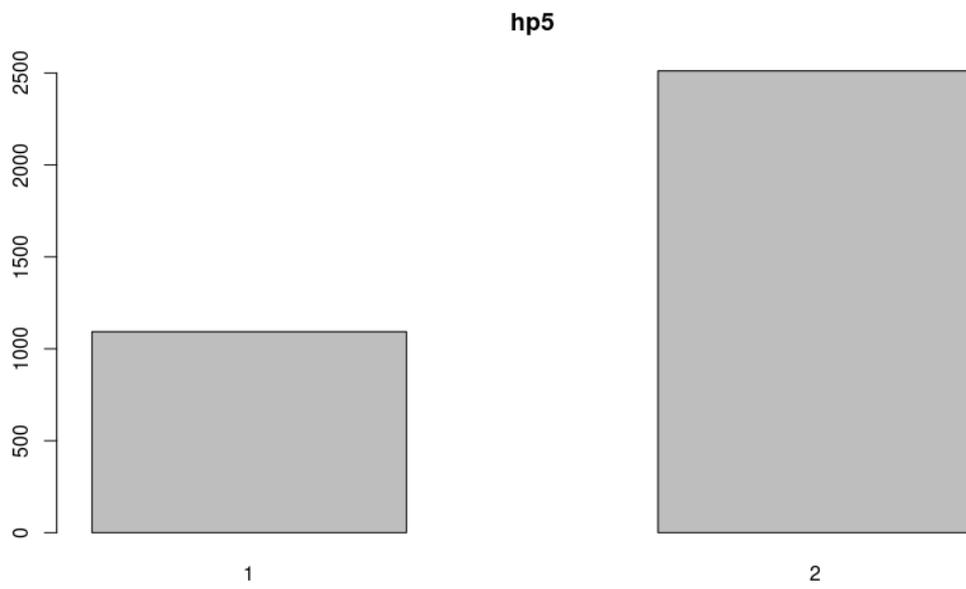


Gráfico A3. Distribución de hp5 (habilidad de permanencia a los 5 años)

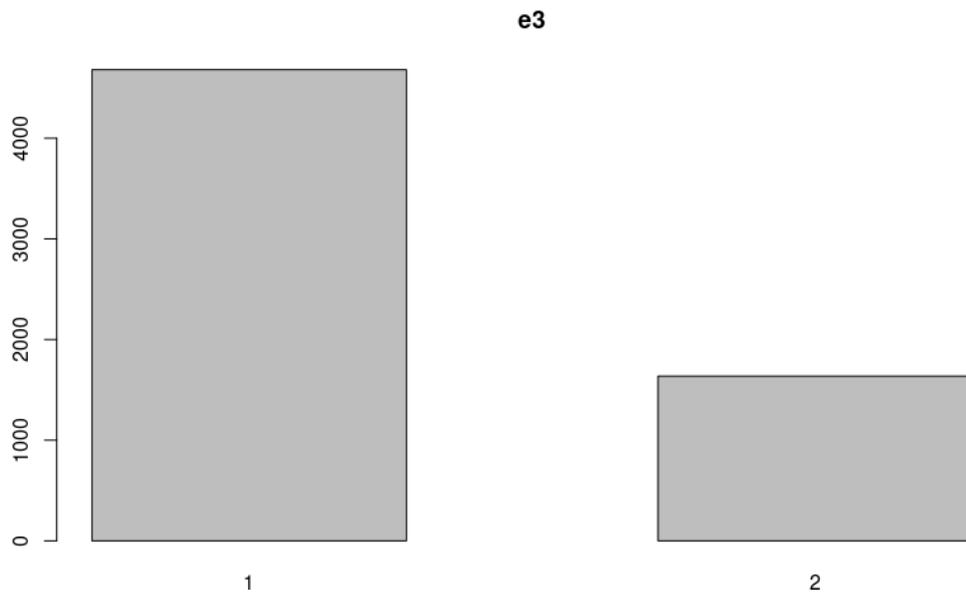


Gráfico A4. Distribución de e3 (éxito de tener tres partos consecutivos)

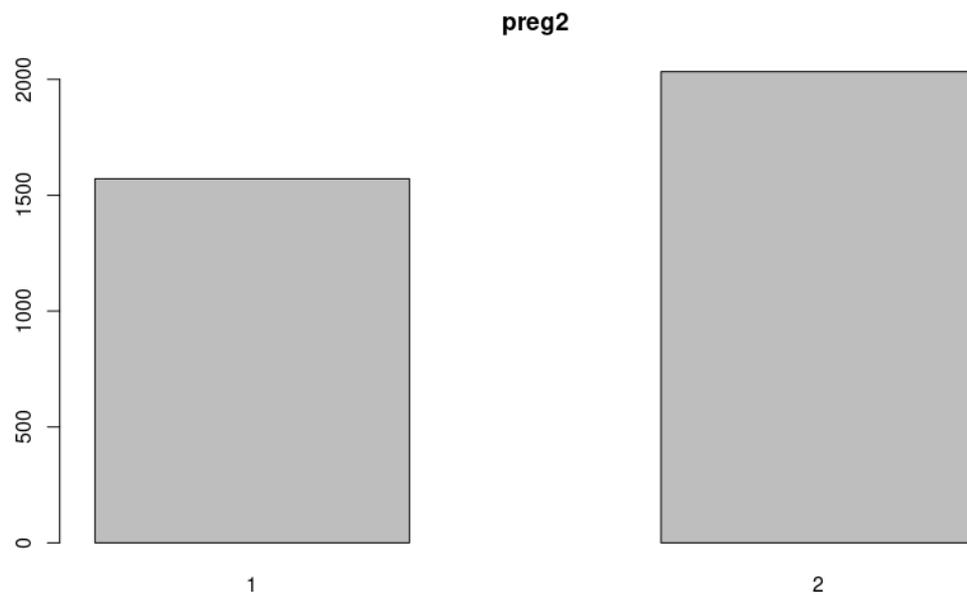


Gráfico A5. Distribución de preg2 (éxito de preñez al segundo parto)