



**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA**

Programa de Posgrados

**DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DE HEMBRAS CRUZA
ABERDEEN ANGUS, HEREFORD, SALERS Y NELORE**

Estimación de parámetros genéticos de cruzamientos

Guillermo Martinez Boggio

TESIS DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**URUGUAY
2020**



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

Programa de Posgrados

**DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DE HEMBRAS CRUZA
ABERDEEN ANGUS, HEREFORD, SALERS Y NELORE**

Estimación de parámetros genéticos de cruzamientos

Guillermo Martínez Boggio

**Olga Ravagnolo Gumila
Director de Tesis**

2020

**INTEGRACIÓN DEL TRIBUNAL DE
DEFENSA DE TESIS**

2020



**FACULTAD DE VETERINARIA
Programa de Posgrados**

ACTA DE APROBACIÓN DE TESIS

DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**DESEMPEÑO REPRODUCTIVO DE HEMBRAS CRUZA
ABERDEEN ANGUS, HEREFORD, SALERS Y NELORE-
Estimación de parámetros genéticos de cruzamientos**

Por: Dr. Guillermo Luis Martínez Boggio

Directora de Tesis: Dra. Olga Ravagnolo

Tribunal

Presidente: Dra. Silvia Llambi

Dra. Silvia Llambi
Prof. Titular (D. S. T.)
Departamento de Genética y Reproducción
Instituto de Zootecnia
Montevideo, Uruguay

Segundo Miembro: Dra. Ana Espasandín

Tercer Miembro: Dr. Fernando Cardoso

Fallo del Tribunal:

El M.V. Guillermo Martínez Boggio realizó una muy buena exposición oral didáctica así como la defensa de los resultados obtenidos. Presentó antecedentes sólidos en bibliografía actualizada (Internacional y Nacional). Se trató de una tesis con un buen diseño experimental en un tema sobre cruzamientos de diferentes razas para la mejora genética en animales de producción de carne.

La hipótesis y objetivos planteados (generales y específicos) fueron los adecuados para la problemática a estudiar. El estudiante respondió las preguntas formuladas por el tribunal con solvencia mostrando conocimiento del tema. Se hace notar al tesista, que las conclusiones de la tesis las debería formular en forma más detallada y específica de acuerdo a los resultados obtenidos.

En suma el estudiante realizó una muy buena defensa y discusión, con el tribunal, de los resultados obtenidos por lo que se le otorga el fallo de: **Aprobada con Mención SSS-12**

JUEVES 10 DE SETIEMBRE DE 2020

PLATAFORMA ZOOM, POSGRADO

El Fallo de aprobación de la Tesis puede ser: Aprobada (corresponde a la nota BBB- en el Acta), o Aprobada con Mención (corresponde a la nota SSS- 12 en el Acta)

DEDICATORIAS Y/O AGRADECIMIENTOS

A mis padres Daniel y Liliana, a mis hermanos Santiago y Guzmán, y a Giuliana por acompañarme y estar a mi lado durante todo el proceso.

A Olga Ravagnolo, por aportarme su tiempo, conocimiento y experiencia. Pero por sobre todo, guiarme en mi desarrollo humano y profesional.

A Mario Lema, Diego Gimeno e Ignacio Aguilar, por su tiempo, sus aportes al trabajo e invaluable aportes a mi formación.

A todo el grupo de Mejoramiento Genético Animal del INIA Las Brujas que con sus aportes hicieron posible lograr un mejor trabajo.

Al Departamento de Genética y Mejora Animal de Facultad de Veterinaria que me abrieron las puertas desde un primer momento y me acompañaron en mi formación académica.

A todos de los que de alguna forma fueron parte del proceso, y me acompañaron en el camino.

“Al fin y al cabo, somos lo que hacemos para cambiar lo que somos”

Eduardo Galeano

INDICE

FIRMAS, TÍTULO (Actas) y COPYRIGHT	I
DEDICATORIAS Y/O AGRADECIMIENTOS	II
INDICE.....	III
INDICE DE CUADROS Y FIGURAS	V
CUADROS	V
FIGURAS	VI
RESUMEN	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS	2
2.1 HERRAMIENTAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO	2
2.1.1 Modelo genético básico.....	2
2.1.2 Cruzamientos y selección.....	2
2.2 CRUZAMIENTOS EN GANADO PARA CARNE.....	3
2.2.1 Efectos genéticos en cruzamientos.....	3
2.2.1.1 Efecto genético aditivo	3
2.2.1.1.1 Efecto genético individual.....	3
2.2.1.1.2 Efecto genético maternal.....	4
2.2.1.2 Heterosis individual y maternal	4
2.2.1.3 Pérdidas por recombinación.....	4
2.2.2 Estimación de parámetros de cruzamientos	5
2.2.3 Modelos de cruzamientos.....	6
2.2.4 Antecedentes de trabajos de cruzamientos en Uruguay	7
2.3 REPRODUCCIÓN EN VAQUILLONAS Y VACAS DE CRÍA.....	7
2.3.1 Relevancia económica en sistemas de producción.....	7
2.3.2 Definición de características reproductivas	9
2.3.2.1 Tasa de preñez en vaquillonas	9
2.3.2.2 Días al parto, día de parto y fecha de parto	9
2.3.2.3 Largo de gestación	10
2.3.2.4 Éxito al parto.....	10
2.3.2.5 Tasa de parición	11
2.3.3 Heredabilidad de características reproductivas	11
2.3.4 Factores que afectan las características reproductivas	12
2.3.4.1 Factores genéticos.....	12
2.3.4.2 Factores ambientales.....	13
2.3.5 Antecedentes en parámetros de cruzamiento para características reproductivas	14
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	18

3.1	OBJETIVO GENERAL.....	18
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
4.1	DATOS.....	19
4.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	23
4.2.1	Análisis de efectos ambientales fijos	23
4.2.2	Estimación de medias de grupos genéticos	25
4.2.3	Estimación de parámetros de cruzamientos	26
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
5.1	EFFECTOS AMBIENTALES FIJOS	29
5.2	MEDIAS ESTIMADAS DE GRUPOS GENÉTICOS.....	33
5.2.1	Probabilidad de IA	33
5.2.2	Éxito al parto	34
5.2.3	Días al parto	35
5.3	PARÁMETROS DE CRUZAMIENTOS.....	37
6.	CONCLUSIONES.....	45
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
	ANEXO	53

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CUADROS

Cuadro I. Parámetros de cruzamientos aditivos y no aditivos, individuales y maternas incluidos en los modelos genéticos.	6
Cuadro II. Resumen de estimaciones de heredabilidad para características reproductivas en ganado de carne reportadas en la bibliografía.....	11
Cuadro III. Parámetros genéticos de cruzamiento estimados para diferentes características reproductivas reportados por diversos autores.....	15
Cuadro IV. Número de hembras nacidas en el experimento según año de nacimiento y grupo genético.	20
Cuadro V. Número de registros totales para las características probabilidad de inseminación artificial, éxito al parto y días al parto.....	22
Cuadro VI. Número de hembras en servicio según grupo genético y periodo.....	23
Cuadro VII. Número de hembras en servicio por categoría, edad y grupo genético.	24
Cuadro VIII. Número de registros por condición corporal (CC) al parto para los diferentes periodos de servicio considerados en días al parto.	25
Cuadro IX. Modelos de análisis y procedimientos estadísticos utilizados para probabilidad de IA, éxito al parto y días al parto.	26
Cuadro X. Grados de libertad, valores de F y niveles de significancia del análisis de mínimos cuadrados para las características probabilidad de IA, éxito al parto y días al parto.	29
Cuadro XI. Medias estimadas para las características probabilidad de IA, éxito al parto y días al parto por efectos ambientales.	30
Cuadro XII. Medias de probabilidad de inseminación artificial y éxito al parto en vaquillonas, vacas de 2° servicio y vacas de 3 o más años.	33
Cuadro XIII. Medias de días al parto para vacas de 2° servicio y vacas de 3 o más años.	35
Cuadro XIV. Estimación de parámetros de cruzamiento expresados en la variable subyacente normal para las características de probabilidad de inseminación artificial y éxito al parto.	37
Cuadro XV. Estimación de parámetros de cruzamiento para la característica días al parto.	43

FIGURAS

Figura 1. Ciclo reproductivo de la vaca de cría en sistemas de producción de carne. 8

Figura 2. Medias estimadas para probabilidad de inseminación artificial en vaquillonas para las razas Hereford (HH), Aberdeen Angus (AA), Nelore (NN) y Salers (SS), promedio entre razas y primeras cruzas (1/2).....40

Figura 3. Medias de éxito al parto de vaquillonas Hereford (HH), Angus (AA) y sus cruzas calculadas a partir de los parámetros de cruzamiento estimados.41

Figura 4. Medias éxito al parto de vacas de 3 o más años Hereford (HH), Nelore (NN) y sus cruzas calculadas a partir de los parámetros de cruzamiento estimados.42

RESUMEN

El sector criador en Uruguay, históricamente desplazado a los suelos menos productivos, presenta hace más de 10 años porcentajes de procreo del 65% anual. El desempeño reproductivo de los rodeos de cría es conocido que podría mejorarse mediante cuatro pilares como manejo, nutrición, sanidad y genética. En este último, los cruzamientos aparecen como una herramienta de mejora genética que permiten mejorar el desempeño animal a través de la utilización de las diferencias raciales, la heterosis y la complementariedad entre razas. Para la correcta utilización de la herramienta, así como para encontrar la mejor combinación de razas posible son necesarias las estimaciones de parámetros genéticos de cruzamiento aditivos y no aditivos. El objetivo de este trabajo fue estudiar el desempeño reproductivo de hembras de diferentes combinaciones raciales surgidas del cruzamiento entre razas británicas-británicas, británicas-continentales y británicas-cebuinas, mediante la estimación de los parámetros genéticos de cruzamientos. La información utilizada proviene de experimentos realizados entre Facultad de Agronomía (UdelaR) y la Caja Notarial de Seguridad Social durante 1992 y 2002 en el establecimiento comercial “Capilla Vieja” (Paysandú, Uruguay). Para el trabajo fueron consideradas 1.451 hembras de 17 grupos genéticos diferentes, que surgen de las combinaciones entre las razas Hereford (HH), Nelore (NN), Salers (SS) y Aberdeen Angus (AA). Se analizaron las características probabilidad de inseminación artificial (prob. IA) en vaquillonas, y éxito al parto (EP) y días al parto (DP) en las categorías de vaquillonas, vacas de segundo servicio y vacas de 3 o más años. Para comparar los diferentes grupos genéticos, se estimaron para cada característica las medias y parámetros genéticos aditivos individuales (g^I) y heterosis individuales (h^I). Los resultados de medias por grupo genético para prob. IA fueron las cruzas F1 superiores a las puras HH. Para EP, vaquillonas cruza A/H y S/H tuvieron valores similares entre sí y con HH, y las cruzas de segundo servicio y de 3 o más años N/H presentaron mayor éxito al parto, diferenciándose significativamente de HH. En DP las vacas de 3 o más años, cruza N/H fueron diferentes de HH, y de S/H y A/H. Las estimaciones de g^I de AA, NN y SS no fueron diferentes a HH para ninguna de las características evaluadas, y h^I no presentó diferencias significativas con HH. Las estimaciones de h^I fueron significativas en cruza A/H para prob. IA y éxito al parto como vaquillona, y para las cruza N/H como vacas adultas. Las conclusiones fueron que el mejor desempeño en comparación a Hereford lo presentaron las cruza F1 para probabilidad IA, vaquillonas A/H y S/H para éxito al parto, y vacas N/H para éxito al parto en segundo servicio, y para días al parto como vaca de 3 o más años. Las estimaciones de efectos genéticos aditivos de las razas Aberdeen Angus, Salers y Nelore no fueron significativos, mientras los efectos de heterosis sí lo fueron para probabilidad de inseminación artificial y éxito al parto.

SUMMARY

The area of breeding cattle in Uruguay, historically displaced to the less productive soils, presents more than 10 years ago 65% of annual calving rates. The reproductive performance of breeding herds is known to be improved by four pillars such as management, nutrition, health and genetics. In this last one, crosses appear as a genetic improvement tool that allows improving animal performance using breed differences, heterosis and complementarity between breeds. For the correct use of the tool, as well as to find the best combination of breeds, estimates of additive and non-additive crossbreeding parameters are necessary. The aim of this experiment was to study the reproductive performance of females of different breed combinations arising from crosses between British-British, British-Continental and British-Zebu breeds, by estimating the crossbreeding genetic parameters. The information used comes from one experiment carried out between the University of Agronomy (UdelaR) and the Notarial Social Security Fund during 1992 and 2002 in the commercial establishment "Capilla Vieja" (Paysandú, Uruguay). For this study, 1451 females from 17 different genetic groups were considered, which arise from combinations between the breeds Hereford (HH), Nellore (NN), Salers (SS) and Aberdeen Angus (AA). We analysed the traits probability of artificial insemination (AIP) in heifers, and calving success (CS) and days to calving (DC) in the categories of heifers, second calving cows and cows of 3 years old or more. To compare the different genetic groups, individual additive (g^I) and individual heterosis (h^I) means and genetic parameters were estimated for each trait. The results of means per genetic group for AIP were F1 crosses superior to pure HH crosses. For CS the A/H and S/H crosses had similar values between them and with HH. The second calving and 3 or more years N/H crosses presented greater calving success, differing significantly from HH, and from the other F1 crosses. In DC, cows of 3 or more years old, N/H crosses were different from HH, and from S/H and A/H. The g^I estimates of AA, NN and SS were not different from HH for any of the evaluated traits, and h^I did not present significant differences with HH. The h^I estimates were significant in the A/H crosses for AIP and CS as a heifer, and for N/H crosses as adult cows. The conclusions were that the best performance compared to Hereford was presented by F1 crosses for AI probability, heifers A/H and S/H for calving success and N/H cows for calving success in second calving, and for days to calving as a 3 year old cow or more. Estimates of additive genetic effects of Aberdeen Angus, Salers and Nellore breeds were not significant, while the effects of heterosis were significant for probability of artificial insemination and calving success.

1. INTRODUCCIÓN

La cría bovina, base de la producción de carne en Uruguay, ocupa el 55% de los 15.003 millones de hectáreas destinadas a la actividad ganadera y agrícola-ganadera. El sector criador históricamente desplazado a los suelos menos productivos del país se caracteriza por sistemas pastoriles, mayormente a base de campo natural, y con bajos porcentajes de procreo del 65% anual (DIEA 2019).

Las principales limitantes reproductivas identificadas en nuestros rodeos de cría fueron bajos porcentajes de preñez, largos intervalos parto-celo y tardía edad al primer servicio (Quintans 2010). El desempeño reproductivo de dichos rodeos podría mejorarse mediante: (1) medidas de manejo, (2) nutrición, (3) sanidad y (4) genética. Dentro de las herramientas de mejora genética disponibles, los cruzamientos podrían ser una alternativa interesante ya que utilizan las diferencias raciales, la heterosis o vigor híbrido, y la complementariedad entre razas (Dickerson 1973).

La utilización de los cruzamientos en vacunos para carne en Uruguay es variable, y es representada por un 10 a 27% de animales cruza en el rodeo nacional. Según la última Encuesta Ganadera Nacional (MGAP-OPYPA 2016) el rodeo está compuesto por 10% cruza Hereford, 8% cruza Aberdeen Angus, 5% otras cruza y 4% de razas sintéticas como Braford y Brangus. Por su parte, el Sistema Nacional de Información Ganadera (SNIG) al año 2015 reportó un porcentaje de terneros cruza registrados menores al 10% (SNIG 2019). Con relación a datos de la faena, la última Auditoria de calidad de carne bovina (Brito et al. 2017) en 2013 indicó que el 37,6% de los animales faenados fueron cruza (25,6% cruza británica, 4,5% cruza cebú, 1,3% cruza continental y 6,2% otras cruza).

La correcta utilización de los cruzamientos requiere de la evaluación productiva y económica de las razas disponibles, así como las posibles combinaciones entre ellas, para esto, es necesario disponer de estimaciones de parámetros genéticos de las razas de interés (Madalena 2001). Estos parámetros (diferencias aditivas entre razas, heterosis y pérdidas por recombinaciones epistáticas) se pueden estimar mediante modelos genéticos que explican el desempeño del animal cruza y permiten predecir el resultado de diferentes sistemas de cruzamientos (Dickerson 1973).

Las características reproductivas son difíciles de mejorar a través de selección, dada su complejidad, su expresión tardía en la vida del animal, y las bajas heredabilidades que presentan (MacNeil et al. 1994). A pesar de esto, son las de mayor relevancia económica para diversos sistemas de producción a nivel mundial (Newman et al. 1992), así como lo son, según los trabajos de Urioste et al. (1998) y Pravia (2010) para el Uruguay. Por lo cual, los cruzamientos se ajustarían mejor al mejoramiento genético de caracteres reproductivos, dado que aprovechan los importantes efectos de dominancia que presentan tales características (Madalena 2001; Espasandin et al. 2006).

2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS

2.1 HERRAMIENTAS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO

Las herramientas disponibles para la mejora genética animal son los cruzamientos entre razas, y la selección entre y dentro de razas (Madalena 2001). Estas pueden ser utilizadas para alcanzar una producción de alimentos más eficiente con los recursos disponibles, haciendo uso de la variación genética animal entre y dentro de razas (Groen 1999).

2.1.1 Modelo genético básico

El desempeño de un animal está determinado por la capacidad genética y el efecto que el ambiente ejerce sobre él. El componente genético de un individuo es explicado por la acción de innumerables genes que actúan individualmente y en conjunto con otros genes o grupos de ellos. Los efectos genéticos pueden ocurrir a tres niveles (Cunningham 1987):

- i. Efectos aditivos, que son debidos a la acción independiente de genes individuales
- ii. Efectos de dominancia, que son debidos a la acción conjunta de pares de genes dentro de *loci*
- iii. Efectos de epistasis, que son debidos a la acción conjunta de dos o más genes en dos o más *loci*

El ambiente es definido como la variación no genética, que puede tener diferentes causas y depende en gran medida de la característica y la especie estudiada. La variancia ambiental generalmente es una fuente de error que reduce la precisión de los análisis genéticos, por lo que el objetivo es reducirla lo más posible mediante manejos adecuados y un correcto diseño experimental. Los factores externos más comunes son los nutricionales, climáticos, maternos y errores de medición (Falconer & Mackay 1996).

2.1.2 Cruzamientos y selección

La selección de animales con objetivos y/o en ambientes distintos, así como los cambios aleatorios acumulativos de las frecuencias génicas en las poblaciones, han generado las diferencias conocidas entre razas. Dickerson (1969) afirma que las diferencias raciales son fuente de mejoramiento genético, y que permiten alcanzar una producción animal más eficiente mediante: (1) la selección de la mejor raza, cuando existe una claramente superior; (2) la utilización de cruzamientos en forma sistemática; y (3) el desarrollo de una nueva raza, a partir del cruzamiento con las ya existentes.

Dentro de las herramientas de mejora genética, la selección se basa en la acumulación de efectos aditivos favorables de generación en generación, lo que produce cambios graduales en el orden del 1 al 2% anual. Los cruzamientos tienen la ventaja de permitir aumentos rápidos de producción del 20 al 70%, pero la mejora se detiene una vez estabilizado el sistema. Por lo cual, una estrategia interesante sería la utilización de ambos métodos de forma simultánea (Madalena 2001).

2.2 CRUZAMIENTOS EN GANADO PARA CARNE

Los cruzamientos son apareamientos entre animales de diferentes líneas o razas (Falconer & Mackay 1996), y permiten mejorar el desempeño de los animales en diferentes ambientes mediante las diferencias raciales, la heterosis y la complementariedad entre razas.

Las diferencias raciales son definidas como las diferencias entre razas provenientes de distintas regiones y adaptadas a múltiples condiciones ambientales. La heterosis o vigor híbrido, es la superioridad de los animales cruce con relación al promedio de las razas puras parentales, y su magnitud depende en parte de la distancia genética entre las razas parentales (Brandt et al. 2010; Schiermiester et al. 2018). La complementariedad es la combinación de razas en función de las fortalezas y debilidades de cada una de ellas, debido a que no existe una raza superior para todos los sistemas de productivos (Cundiff et al. 1993).

2.2.1 Efectos genéticos en cruzamientos

El desempeño de animales cruce está determinado por los efectos de cruzamiento aditivos y no aditivos (dominancia y epistasia). Los mismos pueden expresarse tanto en el componente individual, determinado por el efecto genético del individuo, como en el materno, que refiere a la habilidad y el ambiente proporcionado por la madre (Dickerson 1969; Dickerson 1973).

2.2.1.1 Efecto genético aditivo

2.2.1.1.1 Efecto genético individual

El efecto genético individual (g^I) o directo es definido por la contribución génica aditiva de los padres. Para individuos formados por la combinación de múltiples razas, el componente aditivo será igual a la contribución génica de cada una de ellas (Cunningham 1987; Madalena 2001). Es únicamente en la primera cruce (F1) que todos los individuos tienen exactamente $\frac{1}{2}$ de sus genes de cada raza parental, y sus *loci* ocupados por un gen de cada raza. En los siguientes cruzamientos, la presencia o ausencia de cada raza en cada *locus* generan distribuciones de probabilidad (Madalena 2001).

Para ejemplificar lo antes definido, en cruzamientos de una raza A por otra B, la progenie resultante AB tendrá $\frac{1}{2}$ de sus genes de la raza A, y el otro $\frac{1}{2}$ de B. Pero, en el cruzamiento de un animal cruce AB por otra cruce AB, uno de los hijos segunda

cruza (F2) resultante podría recibir todos los genes de la raza A o B. Sin embargo, cuando se consideran muchos individuos los valores tenderán a ser iguales al $\frac{1}{2}$ esperado de genes recibidos de cada raza (Lush 1927).

2.2.1.1.2 Efecto genético maternal

El efecto genético maternal (g^M) es la contribución génica aditiva de la madre, o también definido como el desvío debido a los efectos ambientales maternos (Dickerson 1969). Su expresión es relevante en ciertas características y especies, donde como en bovinos, la madre es quien cría a los hijos (Cunningham 1987). Los efectos maternos, según Madalena (2001) podrían deberse no solo al ambiente proporcionado por la madre previo y durante la crianza, sino también por herencia citoplasmática.

2.2.1.2 Heterosis individual y maternal

A nivel poblacional, la heterosis individual (h^I) se define como la diferencia entre el desempeño de la población cruce y el promedio de ambas razas parentales. La heterosis maternal (h^M) se define como la diferencia entre la progenie de madres cruce y el promedio de la progenie de madres de las razas parentales, debido a posibles aumentos en producción de leche, mejores ambientes prenatales y mayor habilidad materna (Cardellino & Rovira 2013).

La heterosis se basa en la suma de todos los efectos de dominancia en un *loci* individual. Las desviaciones de la media de los progenitores se produce generalmente en direcciones favorables, dada la difusión de los efectos de dominancia únicamente en aquellos alelos favorables (Cunningham 1987). Cuando la heterosis es considerada en un modelo de un solo *locus*, la misma es explicada por los efectos de dominancia como una expresión proporcional de los *locus* ocupados por un alelo de cada raza (heterocigosidad), pero en modelos de más de un *locus*, se producen desviaciones de dicha relación lineal entre heterosis y heterocigosidad, a causa de las interacciones epistáticas (Hill 1982; Cunningham 1987).

2.2.1.3 Pérdidas por recombinación

Las pérdidas por recombinaciones epistáticas individuales (r^I) están definidas como la ruptura de las interacciones favorables entre *locus*, acumuladas en las razas puras a través de años de selección (Dickerson 1973; Kinghorn 1980). En las razas puras y cruce F1 el $r^I = 0$, dado que los gametos derivan de combinaciones parentales, mientras que en las retrocruzas, $r^I = \frac{1}{4}$ y en las F2, $r^I = \frac{1}{2}$ (Hill 1982).

Los efectos epistáticos son quienes explican las pérdidas por recombinación individuales. Sin embargo, existen diferentes formas de estimar dichos efectos, siendo las pérdidas por recombinación propuesta por Dickerson (1973) solamente una de ellas. La epistasis se define como las interacciones no alélicas entre genes que determinan que la expresión de genes en un *locus* dependa de los alelos presentes en uno o más *loci*. Existen tres formas de interacciones epistáticas si consideramos

únicamente dos *loci*: (1) aditiva-aditiva, (2) aditiva-dominante y (3) dominante-dominante, pero al considerar mayor cantidad de *loci*, el número de interacciones aumentara (Lynch & Walsh 1998).

2.2.2 Estimación de parámetros de cruzamientos

La estimación de parámetros para efectos aditivos, de dominancia e interacciones epistáticas son necesarias para evaluar la eficiencia de los sistemas de cruzamiento, comparar diferentes composiciones raciales en esquemas de cruzamiento, así como buscar las combinaciones óptimas para la formación de razas sintéticas (Dickerson 1969). A su vez, Kinghorn & Vercoe (1989) afirman que es posible predecir el desempeño de grupos genéticos no evaluados en experimentos de cruzamiento, siempre que se parte de estimaciones obtenidas con modelos apropiados.

Para la estimación de los parámetros genéticos, Komender & Hoeschele (1989) propusieron la utilización de los modelos mixtos de Henderson (1973). La estimación se puede realizar en dos pasos, primero mediante la estimación de las medias de grupos genéticos y luego, a partir de las medias obtenidas, estimar los parámetros genéticos propiamente dichos.

Para los autores, las medias ajustadas de los grupos genéticos se estiman mediante el siguiente modelo lineal general:

$$f = Kp + e \quad [1]$$

Donde f es el vector de medias estimadas por grupo genético; K es la matriz de que relaciona los parámetros de cruzamiento con las medias de grupos genéticos; p es el vector de parámetros de cruzamiento; e es el vector de errores aleatorios.

En segundo lugar, las estimaciones de medias ajustadas por grupos genéticos obtenidas en [1] son utilizadas en el siguiente modelo mixto:

$$y = Qf + X\beta + Za + e \quad [2]$$

Donde y es el vector de observaciones; Q es la matriz de incidencia de f ; f es el vector de medias de grupos genéticos; X es la matriz de incidencia de β ; β es el vector de efectos fijos que no incluye f ; Z es la matriz de incidencia de a ; a es el vector de efectos genéticos aleatorios con media cero y varianza $a = G$; e es el error aleatorio con media cero, varianza $e = I\sigma_e^2$ y covarianza $(e,a') = 0$.

Komender & Hoeschele (1989) demostraron que los resultados obtenidos mediante la metodología de estimación en dos pasos, es equivalente al método directo que se realiza mediante el siguiente modelo [3], en un único paso:

$$y = Sp + X\beta + Za + e \quad [3]$$

Donde p es el vector de parámetros de cruzamientos; S es la matriz de coeficientes de p ; y , Q , X , β , Z , a , e son iguales que en [2].

2.2.3 Modelos de cruzamientos

Para la estimación de los parámetros de efectos aditivos y no aditivos, hay modelos de diferente complejidad que difieren en el número de parámetros utilizados para describir el resultado de un cruzamiento en particular (Komender 1988). En el Cuadro I se presentan los modelos de cruzamientos más comúnmente utilizados en producción animal y los efectos genéticos que incluyen, teniendo en cuenta la definición de Dickerson (1973).

Cuadro I. Parámetros de cruzamientos aditivos y no aditivos, individuales y maternos incluidos en los modelos genéticos.

Modelos	Efectos genéticos ¹					
	g^I	g^M	h^I	h^M	r^I	r^M
Aditivo	♦	♦				
Aditivo Dominante	♦	♦	♦			
Aditivo Dominante con efectos maternos	♦	♦	♦	♦		
Pérdidas por recombinación individual	♦	♦	♦	♦	♦	
Modelo completo de Dickerson (1969) con efectos maternos	♦	♦	♦	♦	♦	♦

¹ g , h y r corresponden según Dickerson (1973) al efecto aditivo, heterosis y pérdidas por recombinación, respectivamente; I y M indican efectos individuales y maternos, respectivamente.

El modelo Aditivo Dominante que fuera aplicado por primera vez en bovinos de leche por Vencovsky et al. (1970), incluye únicamente las diferencias genéticas aditivas entre razas y la heterosis. Sin embargo, este modelo podría ser inadecuado en algunas circunstancias dado que no incluye los efectos maternos y los efectos de epistasis. Como ejemplo, en sistemas de producción de bovinos para carne, el animal se cría al pie de la madre y los efectos de producción de leche y habilidad materna son fundamentales, por lo que el modelo Aditivo Dominante con efectos maternos se ajustaría mejor a la mayoría de las características (Cunningham 1987).

Un modelo de mayor complejidad aún es el modelo de pérdidas por recombinación individual y el modelo completo planteado por Dickerson en 1969, que consideran los efectos de epistasis mediante la estimación de las pérdidas por recombinaciones epistáticas (Dickerson 1973). Sin embargo, estos requieren mayor cantidad de animales y el desarrollo de grupos genéticos específicos, comparado a modelos más

simples que únicamente incluyen los efectos genéticos aditivos y de dominancia (Hill 1982).

2.2.4 Antecedentes de trabajos de cruzamientos en Uruguay

Los primeros trabajos de cruzamientos en Uruguay comenzaron en 1964 en la actual Estación Experimental del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) La Estanzuela, en dichos trabajos fueron evaluadas características de crecimiento y calidad de la canal para las cruzas entre Hereford, Aberdeen Angus y Limousin. Posteriormente en 1979, y con la habilitación del ingreso de razas cebuinas a nuestro país, comienza en la Estación Experimental del Norte (actualmente INIA Tacuarembó) una línea de investigación con cruzamientos entre Hereford y razas Cebú.

En 1993 se desarrollan cuatro experimentos, tres de ellos en campos comerciales de la Caja Notarial de Seguridad Social ubicados en el departamento de Paysandú, y otro en la Estación Experimental Bernardo Rosengurt (EERB) de la Facultad de Agronomía en el departamento de Cerro Largo. Los experimentos tuvieron una duración de 10 años, e involucraron siete razas bovinas, tres de origen británico (Hereford, Aberdeen Angus y Red Poll), tres continentales (Limousin, Salers y Charolais) y la restante cebuina (Nelore).

La mayor parte de los trabajos de cruzamientos realizados estimaron parámetros genéticos de cruzamientos para características de crecimiento. Sin embargo, algunos de ellos consideraron características reproductivas, Lema et al. (2011) estimaron efectos genéticos aditivos y de heterosis para las características peso al nacimiento, al destete y largo de gestación. Pereyra et al. (2015) y Espasandin et al. (2006) reportaron estimaciones de medias ajustadas para grupos genéticos y heterosis para las características probabilidad de destete, largo de gestación e intervalo inter partos en cruzamientos dialélicos Aberdeen Angus y Hereford. Gimeno et al. (2002) evaluaron el comportamiento reproductivo (dificultad al parto, porcentaje de parición y días al parto) de vacas y vaquillonas cruza británicas, continentales y cebuinas.

2.3 REPRODUCCIÓN EN VAQUILLONAS Y VACAS DE CRÍA

2.3.1 Relevancia económica en sistemas de producción

La reproducción es reconocida como la principal limitante de la eficiencia productiva del ganado para carne (Dickerson 1970; Long 1980; Dziuk and Bellows 1983; Berry et al. 2014), es por ello que numerosos autores destacan la relevancia económica de las características reproductivas en diferentes sistemas de producción (Newman et al. 1992; Nitter et al. 1994; MacNeil et al. 1994; Phocas et al. 1998). Como ejemplo, a nivel mundial los sistemas criadores tienen como principal ingreso la comercialización de terneros al destete, y es por ello que la reproducción tiene cuatro veces más relevancia que el producto final (Melton 1995).

En sistemas de producción de carne, el objetivo es producir un ternero por vaca y por año (Darwash et al. 1997). Según Short et al. (1990) las mayores pérdidas en producción de terneros dentro de los rodeos de cría se deben a bajos porcentajes de preñez, y prolongados intervalos de tiempo entre el parto y el celo (o también definido como intervalo posparto), que condiciona ampliamente la probabilidad de que la vaca quede preñada en la estación de servicio correspondiente (Wiltbank 1970; Quintans et al. 2008).

Los sistemas de cría vacuna son complejos, tienen un alto número de categorías involucradas e interrelacionadas entre sí. En Uruguay, los sistemas criadores generan dos productos principales de venta: terneros/as y vacas de descarte. La particularidad es que ambos productos tienen relevancia económica, y es la tasa de preñez la variable que determina en qué proporción se obtendrán los productos de venta del sistema. La vaca fallada o descarte, es aquella vaca que no quedo preñada, y que puede permanecer en el rodeo para el próximo servicio, o destinarse a la venta como vaca flaca o gorda dado los buenos precios que presenta en nuestro país (Soares de Lima et al. 2017).

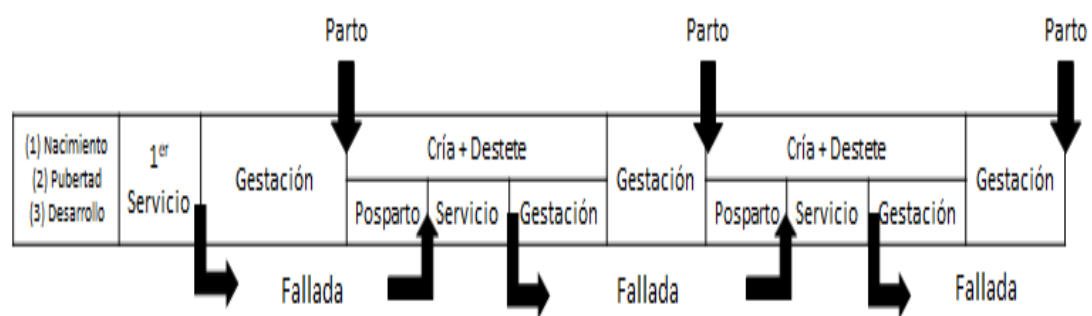


Figura 1. Ciclo reproductivo de la vaca de cría en sistemas de producción de carne.

La fertilidad en la vaca está definida como la habilidad para concebir, llevar la preñez a término y asegurar el normal desarrollo posnatal del ternero (ICAR 2018). Siendo que la fertilidad está determinada por la sucesión de diferentes eventos interrelacionados, en la Figura 1 se representa como acontecen los mismos en la vida reproductiva de la vaca de cría. El periodo que involucra la crianza y posterior destete del ternero a los 6 o 7 meses (cría + destete), es fundamental dado que la vaca debe recuperarse adecuadamente, quedar preñada en el siguiente servicio y transcurrir por el primer tercio de gestación.

Es por lo que la definición de las características reproductivas es difícil en comparación a características de crecimiento o de la canal. A su vez, en Uruguay los sistemas de producción de carne son extensivos y con escasa registración de los eventos reproductivos, lo que limita la cantidad de características registradas (Urioste et al. 1998).

2.3.2 Definición de características reproductivas

Las etapas del ciclo reproductivo de la vaca (Figura 1) pueden ser medidas mediante diferentes características reproductivas y en diferentes categorías, a continuación, se presentará las definiciones de algunas de las características más frecuentemente reportadas en trabajos asociados al mejoramiento genético animal nacionales e internacionales.

2.3.2.1 Tasa de preñez en vaquillonas

La relevancia de la tasa de preñez en vaquillonas para sistemas criadores está determinada por el tiempo y los recursos que el desarrollo de las hembras de remplazo del rodeo demanda (Doyle et al. 2000). En Uruguay, el 62% de las vaquillonas se sirven por primera vez entre los 2 y 3 años, y tienen su primer parto a los 3 o 4 años (MGAP-OPYPA 2016). Esto determina la presencia de categorías improductivas en el rodeo, que no han entrado aún en el ciclo de cría, por ende, repercute en una menor eficiencia reproductiva del rodeo. A nivel biológico, la característica representa la capacidad del animal de concebir y estar preñada al diagnóstico de gestación (Eler et al. 2004), lo que permite alargar la vida reproductiva de la vaca en el rodeo de cría (Doyle et al. 2000).

La tasa de preñez es definida como la probabilidad de una vaquillona estar preñada luego de finalizados los servicios, habiendo sido expuesta al toro o incluida dentro del grupo de inseminación artificial (Evans et al. 1999; Doyle et al. 2000; Eler et al. 2004). Por lo general, el diagnóstico de preñez se realiza por palpación rectal a los 60 días de finalizado el periodo de servicio. En función de dicho diagnóstico, la característica puede asumir valores de “1” para la vaquillona preñada y “0” para la no preñada (Evans et al. 1999; Doyle et al. 2000; Eler et al. 2004).

2.3.2.2 Días al parto, día de parto y fecha de parto

La capacidad del animal para alcanzar el objetivo productivo de producir un ternero por año como plantean Darwash et al. (1997), dependerá entre otros factores del momento en que la vaca conciba dentro de la época de servicios. La relevancia de estas características es que intentan identificar animales que conciban más temprano, para al comienzo de la estación y tengan mayor tiempo de recuperación para el siguiente servicio (Cammack et al. 2009).

La característica días al parto es definida como el intervalo en días entre la fecha de comienzo de la monta natural y la fecha de parto subsiguiente, dentro de la misma estación de cría (Meyer et al. 1990; Johnston & Bunter 1996). La fecha de parto es definida como la fecha en que la vaca tiene el parto, según Bourdon and Brinks (1982), y es muy similar al día de parto definido por Ponzoni (1992) como el número de días entre el inicio de la estación de partos y la fecha de parto de la vaca, pero expresada dentro de cada estación.

Las tres características son conceptualmente similares (Ponzoni 1992), y como presentaron Meyer et al. (1990) ninguna de ellas inicialmente consideró las vacas sin parto registrado. La inclusión de estas en el análisis de las características es relevante ya que posiblemente sean genéticamente inferiores en su habilidad para concebir durante el periodo restringido de servicio. Existen diferentes metodologías para asignar un valor a las vacas o vaquillonas que no presentan parto dentro de la estación en estudio: (1) calcular un valor predicho para las vacas que no paren utilizando un método umbral propuesto por Notter en 1988 y utilizado por Meyer et al. (1990); (2) aplicar una penalización de 21 o 42 días al último registro de parto dentro del grupo de vacas en servicio, o aplicar una constante de 380 días, dicho método fue propuesto por Johnston & Bunter (1996); (3) obtener aleatoriamente los valores para las vacas mediante una distribución normal truncada para los animales sin registro de parto (Donoghue et al. 2004a).

Los métodos de penalización presentados hacen un importante supuesto, y es que la vaca pariría si se le diera el tiempo suficiente según Urioste et al. (2007a). Las estimaciones de la característica días al parto en diferentes pariciones no fueron diferentes al considerar las metodologías (2) y (3), pero según Donoghue et al. (2004a) la no inclusión de los registros censurados hace inadecuada la evaluación de los animales.

2.3.2.3 Largo de gestación

En vacunos para carne, la gestación tiene una duración promedio de 283 días con un rango de 10 días. Las razas *Bos Indicus* presentan valores más altos que las *Bos Taurus* (291 días Brahman vs. 280 días Angus) (Reynolds et al. 1980), y dentro de las razas *Bos Taurus* las diferencias también son significativas, con 281,7 días para Aberdeen Angus, 286,1 días para Hereford, y Shorthorn 284,3 días (Burriss & Blunn 1952; Sagebiel et al. 1973).

La importancia de medir el largo de gestación en ganado para carne es debido al efecto sobre la dificultad al parto. Reynolds et al. (1980) reportaron incrementos en el peso del feto de 0,25 a 0,30 kg por cada incremento en un día de gestación, para las razas Aberdeen Angus, Brahman, Brangus, Africander y sus cruza. A su vez, con una fecha de servicio fija, las vacas que paren más temprano tendrán un menor intervalo posparto dándole a la vaca mayor tiempo de recuperación para el servicio. La característica es definida como intervalo en días desde la fecha de servicio (inseminación artificial) a la fecha de parto de la vaca (Lee et al. 2002).

2.3.2.4 Éxito al parto

La relevancia productiva de la característica es que mide el desempeño reproductivo de la vaca, la cual debe ser capaz de estar preñada al diagnóstico luego del servicio y parir un ternero. En sistemas ganaderos extensivos como caracterizan a Uruguay es una característica de fácil registro (Urioste et al. 2007a).

El éxito al parto es definido como una característica binomial en cada estación de cría. La vaca presente en el servicio, y que tiene parto registrado (vacas paridas) se le asigna un valor de “1”, y la que no tiene parto registrado (vacas falladas) valor de “0” (Donoghue et al. 2004a). Por lo tanto, en su definición incluye a las vacas paridas y no paridas a diferencia de las características anteriores.

2.3.2.5 Tasa de parición

La tasa de parición es un carácter binomial definido como el número de terneros que una vaca produce sobre el número de oportunidades que tuvo para hacerlo (Meyer et al. 1990). La diferencia con el éxito al parto radica en que la característica es medida para la vaca a lo largo de su vida, y no en cada estación de cría.

2.3.3 Heredabilidad de características reproductivas

Los valores de heredabilidad presentes en la bibliografía para la mayoría de las características reproductivas son moderados a bajos, como también fuera presentado en una revisión realizada por Rust & Groeneveld (2001). El largo de gestación es la única que se diferencia de las demás ya que se reportan valores mayores a 0,36 tanto para razas británicas como continentales (Cuadro II).

La característica tasa de preñez en vaquillonas, como se muestra en el Cuadro II, presenta valores moderados de heredabilidad que van entre 0,14 y 0,30 para las razas Hereford y Aberdeen Angus, respectivamente. Por su parte, fue reportado un elevado valor de 0,68 en la raza Nelore por Eler et al. (2004), utilizando la misma metodología que Evans et al. (1999) y Doyle et al. (2000). Las diferencias se deberían a que las razas *Bos Indicus* alcanzan más tardíamente la pubertad, y por ende al medir la preñez en vaquillonas a los 14 meses, la variabilidad genética de la característica es mayor (Eler et al. 2004). Sin embargo, Urioste et al. (2007a) afirman que el valor reportado para Nelore, se debería a las dificultades que presenta la utilización de un modelo umbral juntamente con el método \mathfrak{R} propuesto por Reverter et al. (1994).

Los días al parto y éxito al parto presentan valores de heredabilidad bajos. Para éxito al parto la excepción fue el valor de 0,42 reportado por Urioste et al. (2007b), quienes consideran que puede ser debido al uso de una distribución inadecuada para el análisis de la característica.

Cuadro II. Resumen de estimaciones de heredabilidad para características reproductivas en ganado de carne reportadas en la bibliografía.

Característica	Raza ^a	Heredabilidad	Referencia
Tasa de preñez en vaquillonas	A	0,30	Snelling et al. (1995)
	H	0,14	Evans et al. (1999)
	A	0,21 a 0,23	Doyle et al. (2000)

	N	0,61 a 0,68	Eler et al. (2004)
Días al parto	A	0,053	
	H	0,078	Meyer et al. (1990)
	Cebú	0,086	
	A	0,11	Johnston & Bunter (1996)
	A	0,06	Donoghue et al. (2004b)
Día de parto	A	0,23 a 0,31	Urioste et al. (2007b)
Largo de gestación	Si	0,48	Burfening et al. (1978)
	A, H	0,37	Bourdon & Brinks (1982)
	Cruzas	0,36 a 0,45	Azzam & Nielsen (1987)
Éxito al parto	A	0,079	
	H	0,015	Meyer et al. (1990)
	Cebú	0,081	
	A	0,11	Johnston & Bunter (1996)
	A	0,03	Donoghue et al. (2004b)
	A	0,37 a 0,42	Urioste et al. (2007b)
Tasa de parición	A	0,02	
	H	0,07	Meyer et al. (1990)
	Cebú	0,17	

^a Si=Simmental H=Hereford, A=Angus, N=Nelore

2.3.4 Factores que afectan las características reproductivas

2.3.4.1 Factores genéticos

A nivel genético las razas presentan importantes diferencias en su desempeño reproductivo. La comparación entre razas realizada por Cundiff et al. (1993) dentro del Programa de Evaluación de Germoplasmas de Nebraska demostró que las vaquillonas de razas de menor tamaño adulto como las de origen británico (Angus, Hereford, Red Poll, Shorthorn) alcanzan la pubertad a edades más tempranas que las de mayor tamaño adulto como las continentales (Limousin y Charolais), y las razas cebú (Nelore y Brahman). Esta relación entre tamaño adulto y edad a la pubertad se compensa en cierta medida cuando se considera la producción de leche. Las razas seleccionadas por producción de leche (Braunvieh, Holstein, Simmental y Salers) alcanzan antes la pubertad que razas similares en tamaño adulto y potencial de crecimiento (Charolais y Chianina).

En cuanto a la tasa de concepción, las diferencias entre razas presentes a edad a la pubertad desaparecen, y las vaquillonas de diferentes grupos genéticos no presentan diferencias en tasa de concepción, 87,9% cruza Hereford-Angus, 83,7% Limousin, y

89,9% Nelore (Cundiff et al. 1993). Previamente Long (1980) en una revisión de diferentes trabajos de cruzamientos con razas británicas y cebuinas reportó diferencias entre razas que van de 2 a 10% para tasa de parto, del 1 al 6% para sobrevivencia de terneros hasta el destete, y encontró diferencias moderadas a pequeñas al evaluar largo de gestación y dificultad al parto.

La fertilidad de la vaca expresada mediante diferentes características reproductivas fue superior en vacas cruzas con respecto a vacas de raza pura (Turner et al. 1968; Peacock et al. 1971; Cundiff et al. 1974; Crockett et al. 1978), y el desempeño para las características puede variar según la raza del padre o la madre que esté involucrada en el cruzamiento. Cundiff et al. (1993) evaluaron reproductivamente vacas de diferentes combinaciones raciales y obtuvieron por resultado que, en tasa de destete, las cruzas Hereford y Angus presentan 79 a 84%, Limousin 82% y Nelore 83%, siendo similares los valores que se presentan para porcentaje de terneros nacidos.

2.3.4.2 Factores ambientales

Las características asociadas a procesos metabólicos, como las reproductivas son según Falconer & Mackay (1996) las más influenciadas por los efectos ambientales externos.

El efecto del año en sistemas extensivos describe la variación en las condiciones climáticas y el crecimiento de las pasturas, así como el efecto del rodeo expresa las diferencias nutritivas y de manejo (Urioste et al. 2007a). Cundiff et al. (1974) reportó que los efectos del año y manejo fueron significativos ($P < 0,01$) para las características concepción al primer servicio, porcentaje de preñez y porcentaje de terneros producidos.

A su vez, muchos autores consideran dentro del efecto rodeo de servicio, los efectos de rodeo, año-mes de servicio y también el toro de servicio utilizado (Cundiff et al. 1974; Crockett et al. 1978; Johnston & Bunter 1996; Donoghue et al. 2004b). Johnston & Bunter (1996) reportaron efectos significativos del grupo de servicio ($P < 0,001$) para la característica días al parto, donde el mismo explicaba el 22% de la variación total. Cuando se considera el toro de servicio, fueron reportados efectos significativos únicamente por Buddenberg et al. (1990).

El tipo de servicio realizado en el rodeo, los cuales pueden ser monta natural, inseminación artificial (IA) y/o transferencia embrionaria, es poco utilizado en la bibliografía dado que consideran un único tipo de servicio. En Uruguay, la monta natural tiene una duración promedio de 90 días según (MGAP-OPYPA 2016), y se utiliza un porcentaje de toros según el número de vacas. La IA generalmente presenta una duración de 45 días, y se realiza inseminación a las vacas que demuestran sintomatología de celo. Donoghue et al. (2004b) midieron en forma separada las características relacionadas a fertilidad en servicios de IA y monta natural, y encontraron correlaciones altas entre estas, por lo cual indicaría que son la misma característica.

El efecto de edad de la vaca fue relevante sobre las características día de parto y días al parto (Morris 1984; Buddenberg et al. 1990; Johnston & Bunter 1996). Las vacas de raza Hereford y Aberdeen Angus con 2 años, parieron entre dos y ocho días más tarde, respectivamente (Morris 1984). En los resultados de otros autores podrían estar confundidos los efectos de edad y categoría (Buddenberg et al. 1990; Johnston & Bunter 1996), ya que las vacas de 2,5 años fueron las que presentaron mayores días al parto siendo vacas de segundo servicio. La categoría de segundo servicio es la que presenta mayores requerimientos energéticos (crecimiento y crianza del ternero), por lo que es en ellas, donde los días al parto son mayores en comparación a vacas de primer parto y multíparas (Urioste et al. 2007a).

La condición corporal (CC) de la vaca es relevante en sistemas de producción de carne, dado que es una medida de las reservas de energía que tiene la vaca para afrontar el periodo de mayores demandas energéticas como la lactación. En Uruguay, la escala de CC utilizada es la propuesta por Vizcarra et al. (1986) que va de 1 (vaca muy flaca) a 8 (vaca extremadamente gorda). Quintans et al. (2008) trabajando con vacas cruza Angus-Hereford en un sistema extensivo con base pastoril encontró que con vacas que mantienen una CC entre 5 y 6 en el periodo pre y posparto se incrementaba el porcentaje de vacas ciclando más temprano comparado a vacas con CC entre 4 y 5. Short et al. (1990) reportaron a la condición corporal como el factor más determinante en la duración del intervalo parto y primer celo. Richards et al. (1986) encontraron en un trabajo con vacas Angus y diferentes cruza que la condición corporal es fundamental para reestablecer la actividad ovárica luego del parto, afectando de este modo el intervalo parto-celo e intervalo parto-preñez.

Algunos trabajos incluyen el efecto de la dificultad al parto, o distocia, ya que influye en la mortalidad de los terneros y en la fertilidad de la vaca posterior al parto (Laster et al., 1973; Johnston and Bunter, 1996). La distocia presentó efecto significativo ($P < 0,005$) sobre el porcentaje de vacas detectadas en celo durante los primeros 45 días de IA, y sobre el porcentaje total de concepción. En todas las vacas Angus y Hereford cruzadas con toros Angus, Hereford y de razas Continentales presentaron 15,6% menos de tasa de concepción a la IA (Laster et al., 1973). Sin embargo, Johnston & Bunter (1996) en vacas de 2 años no encontraron efecto de la dificultad al parto ($P > 0,05$) sobre la característica días al parto.

2.3.5 Antecedentes en parámetros de cruzamiento para características reproductivas

Diversos trabajos han reportado estimaciones de parámetros genéticos de cruzamientos para características reproductivas de diferentes razas de ganado para carne (Cuadro III). Los trabajos de cruzamientos realizados en U.S Meat Animal Research Center de Nebraska utilizaron animales de razas británicas y continentales, y evaluaron características como largo de gestación, tasa de preñez y tasa de destete (Gregory et al. 1978a; Gregory et al. 1978b), intervalo posparto y tasa de concepción al primer servicio (Cundiff et al. 1974). Por su parte, los experimentos desarrollados

en la región de Florida, Estados Unidos (Turner et al. 1968; Crockett et al. 1978; Peacock & Koger 1980; Olson et al. 1990) evaluaron características reproductivas similares: tasa de parto, tasa de destete y tasa de preñez, pero incluyeron la raza Brahman además de razas británicas.

Las estimaciones de efectos genéticos en cruzamientos entre razas británicas fueron variables según las características evaluadas. Gregory et al. (1978b) presentan un g^l para Angus de -3,8 días con referencia al promedio de las razas puras en largo de gestación, y Lema et al. (2011) a partir de experimentos realizados en Uruguay, para dicha característica reportan efectos genéticos aditivos significativos para Angus, Salers y Nelore, con referencia a Hereford, de -5,8, -2,3 y +12 días respectivamente (Cuadro III). Para tasa de preñez a 550 días y tasa de destete fueron reportadas por Gregory et al. (1978b) diferencias entre razas británicas no significativas (Cuadro III).

Con relación a los efectos de heterosis, fueron reportados mayores efectos de heterosis para las cruza entre razas europeas (británicas y continentales) y cebuinas. Los cruzamientos entre razas europeas mostraron resultados más variables dependiendo de la característica y la complementariedad de las razas involucradas (Peacock & Koger 1980).

Para cruzamientos entre razas británicas, Cundiff et al. (1974) presentaron efectos de heterosis significativos para las características intervalo posparto y concepción al primer servicio para las cruza Hereford - Shorthorn ($P < 0,05$), y Hereford - Angus, y Hereford - Shorthorn ($P < 0,05$) respectivamente. Por su parte, Franke (1980) presenta una revisión de varios estudios realizados con vacas cruza Brahman y razas británicas donde la heterosis tuvo valores significativos de entre +4,4 y +18,8 % para tasa de parto y de +7,1 a +21,2 % para tasa de destete (Cuadro III).

Cuadro III. Parámetros genéticos de cruzamiento estimados para diferentes características reproductivas reportados por diversos autores.

	Raza ^a	Característica ^b				Referencia
		LG	DP	% P	TD	
Efecto genético aditivo (g^l)	Británicas					
	H ^c	1,5		-1,9	4,4	Gregory et al. (1978b)
	A ^c	-3,8*		5,5	2,4	
	R ^c	1,3		-8,3	4,1	
	A ^c			-0,7	0,0	Williams et al. (1991)
	H ^c			-3,9	-4,7	
A ^c			-6,2		Morris et al. (1993)	

	A ^e	-5,8**			Lema et al.
	Sh ^e	-2,3**			(2011)
Continetales					
	C ^c		5,9	6,1	Williams et al. (1991)
Cebuinas					
	B ^d		0,06*		Olson et al. (1990)
	B ^c	-1,3			Williams et al. (1991)
	N ^e	12,0**			Lema et al. (2011)
Heterosis (h ¹)	Británicas - británicas				
	R-H	-0,4		-3,4	Gregory et al. (1978a);
	R-A	-0,8		4,1	Gregory et al. (1978b)
	H-A	-0,6		1,0	
	A-H		7,6	6,0	Williams et al. (1991)
	H-A		-3,8		Morris et al. (1993)
	Británicas - continentales				
	A-C		2,2	3,3	Peacock & Koger (1980)
	A-C		6,8	10,3	Williams et al. (1991)
	C-H		13,1	19,8*	
	Británicas - cebuinas				
	B-H		18,8**		Turner et al. (1968)
	B-A		12,1*		
	A-B		8,7**	12,2**	Peacock & Koger (1980)
	B-A		0,25**		Olson et al. (1990)
	A-B		12,9*	16,5*	Williams et al. (1991)
	B-H		20,5**	27,8**	
	Continetales - cebuinas				

B-C	9,2**	6,9*	Peacock & Koger (1980)
B-C	12,5*	18,0**	Williams et al. (1991)

^a R=Red Poll, H=Hereford, A=Angus, B=Brahman, Sh=Shorthorn, C=Charolais, N=Nelore.

^b LG=Largo de gestación, DP=Días al parto, %P=Tasa de parición o preñez, TD=Tasa de destete.

^c Efecto genético aditivo expresado como desvío de la media de las razas puras.

^d Efecto genético aditivo expresado como desvío de Angus.

^e Efecto genético aditivo expresado como desvío de Hereford.

Parámetros seguidos por ** ($P < 0,01$), * ($P < 0,05$) fueron significativos en la referencia consultada.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

En Uruguay, la mayoría de los trabajos de cruzamientos realizados consideraron la estimación de efectos de cruzamientos para características de crecimiento y calidad de la canal, y muy pocos las características reproductivas (Gimeno et al. 2002; Espasandin et al. 2006; Lema et al. 2011; Pereyra et al. 2015). Estos últimos caracteres son posiblemente los que más ventaja podrían obtener de la utilización de los cruzamientos entre razas (Arthur et al. 1999; Madalena 2001; Espasandin et al. 2006).

La hipótesis de este trabajo es que las hembras vacunas de diferentes combinaciones raciales surgidas de los cruzamientos entre razas británicas-británicas, británicas-continentales y británicas-cebuinas tienen un desempeño superior para las características reproductivas probabilidad de inseminación, éxito al parto y días al parto que las hembras de raza pura, y a su vez que existen diferencias para estas características entre las razas puras.

3.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar el desempeño reproductivo de hembras de diferentes combinaciones raciales surgidas del cruzamiento entre razas británicas-británicas, británicas-continentales y británicas-cebuinas.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estimar las medias de las características probabilidad de inseminación, éxito al parto y días al parto para las razas puras y cruza británicas-británicas, británicas-continentales y británicas-cebuinas.

Estimar el componente genético aditivo individual para las características probabilidad de inseminación en vaquillonas, éxito al parto y días al parto.

Estimar el componente de heterosis individual para las características probabilidad de inseminación en vaquillonas, éxito al parto y días al parto.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Los registros productivos y reproductivos fueron extraídos de la base de datos de los experimentos realizados en convenio entre Facultad de Agronomía (UdelaR) y la Caja Notarial de Seguridad Social durante el periodo 1992-2002 en el establecimiento comercial “Capilla Vieja” en el departamento de Paysandú, Uruguay. Los experimentos fueron desarrollados con el objetivo de generar información de diferencias raciales y efectos de heterosis en las condiciones productivas de nuestro país.

Las cinco razas incluidas fueron representativas de los diferentes biotipos biológicos presentes en Uruguay al comienzo del experimento; razas británicas: Aberdeen Angus (AA), Hereford (HH) y RedPoll (RR), razas continentales: Salers (SS), y razas cebuinas: Nelore (NN).

Los animales pastoreaban campo natural con una producción aproximada de 5.500 kg materia seca/ha/año. El mismo se caracteriza por presentar una producción marcadamente estacional (62% de la producción en primavera-verano), con picos de producción de pasturas de alta calidad en primavera, y la mayor producción en volumen durante el verano. En el invierno, se produce una fuerte reducción en cantidad y calidad del forraje disponible (13,9% de la producción anual) (Saldanha 2005).

Como manejo reproductivo general, las vaquillonas y vacas falladas se inseminaban artificialmente, y se entoraban las vacas con cría al pie. Luego del primer servicio, las vacas eran removidas del experimento en caso de muerte, o si fallaban en dos servicios consecutivos. El experimento comenzó en 1992 con 500 vacas HH las cuales eran inseminadas anualmente (durante ocho años) con AA, HH, NN y SS, produciendo progenie pura y F1. En 1993 nacieron las primeras hembras puras y F1 del experimento, las que se inseminaron con dos años, y parieron más tarde las primeras hembras retrocruzas y F2. A partir de 1997, a vacas con cría se las sirvió por monta natural con toros RR, con el fin de utilizar una raza diferente a las razas parentales que componen el grupo genético de la vaca. Y en 1999 se completó el rodeo experimental con el nacimiento de las segundas retrocruzas. El experimento finalizó en 2002, por lo que no todos los grupos genéticos fueron evaluados, ni están representados por el mismo número de animales.

4.1 DATOS

Los datos analizados del experimento realizado entre 1992 y 2001 fueron de vaquillonas y vacas cruza simples (F1), primeras retrocruzas, segundas cruza (F2) y retrocruzas, surgidas del cruzamiento de las razas HH, AA, NN y SS. Los registros disponibles fueron: (1) pesadas rutinarias cada 45 días; (2) servicios por monta natural o entore (MN) e inseminación artificial (IA) con fecha de inicio y fin del periodo de servicios, fecha de IA específica y toro utilizado; (3) controles de parición con fecha de parto, dificultad al parto y condición corporal; (4) fecha de destete. Se realizaba

anualmente inseminación artificial a celo visto del 20 de noviembre al 30 de enero, y monta natural entre el 2 de diciembre y 28 de febrero. Los partos se concentraban en los meses de setiembre y octubre, y los destetes en abril, a excepción de los últimos dos años de experimento en los cuales por problemas de sequía se adelantaron al mes de febrero.

La edición inicial de la información consistió en la no inclusión de registros de vacas sin fecha de nacimiento, de grupo genético RR o cruza RR, y con padre y/o grupo genético no identificado. Se eliminaron los servicios de vacas de la generación 93 para el periodo 1996-1997, debido a problemas con la registración de los servicios en dicho periodo.

El Cuadro IV presenta la información disponible luego de la edición inicial. Contiene el total de hembras en el experimento según el año de nacimiento y el grupo genético con la proporción de la raza HH que presenta su composición.

Cuadro IV. Número de hembras nacidas en el experimento según año de nacimiento y grupo genético.

Grupo genético ^a	Prop. H ^b	1993	1994	1995	1996	1997	1998	Total
HH	1	19	66	87	46	48	51	317
AA	0				12	13	14	39
S/H	0,5	31	75	70	51	45	49	321
A/H	0,5	40	33	83	42	42	56	296
N/H	0,5	44	44	43	31	20	43	225
SH/SH	0,5					4	8	12
AH/AH	0,5					4	13	17
NH/NH	0,5					3	10	13
H/SH	0,75				6	12	19	37
SH/H	0,75					11		11
H/AH	0,75				7	4	11	22
AH/H	0,75					7		7
H/NH	0,75				8	3	9	20
NH/H	0,75					7		7
A/AH	0,25				6	4	14	24
AH/A	0,25					12		12
S/SH	0,25				3	6	13	22
N/NH	0,25				1	6	6	13
N/SH	0,25				1			1
A/NH	0,25					1		1
S/AH	0,25					9	25	34
Total		134	218	283	214	261	341	1.451

HH=Hereford, AA=Angus, NN=Nelore, SS=Salers.

^a Grupo genético del padre y madre aparecen a la izquierda y derecha de la barra, respectivamente.

^b Proporción de la raza Hereford en el grupo genético.

Para la definición de las hembras en servicio, se consideró el supuesto de que sí las hembras fueron registradas en los servicios o pesadas durante el periodo de servicio, entonces dichas hembras participaron del servicio correspondiente. Por lo cual, las hembras en servicio fueron definidas como las hembras que cumplen con al menos uno de los siguientes criterios:

- Integra el lote de inseminación artificial ya que presenta fecha de inicio y fin de IA, o fue inseminada con fecha específica de IA.
- Integra el grupo de monta natural (con fecha de inicio y fin de entore)
- Presente en al menos una pesada antes y después del periodo de servicio correspondiente. Las hembras que únicamente cumplen con esta condición fueron consideradas dentro del grupo de IA para los servicios de 1995 y 1996, y en el grupo de monta natural para los restantes años de servicios.

En cada periodo de servicio, fueron definidas las categorías de hembras, en función de los registros de servicios, partos previos, presencia o ausencia y edad de la hembra en el servicio correspondiente. Las categorías definidas fueron:

- a. Vaquillona, como la hembra de dos años en servicio, que no presenta ningún servicio previo registrado.
- b. Vaca de segundo servicio, como la hembra de tres años que al servicio presentó información en el servicio inmediatamente anterior y parto.
- c. Vaca de 3 o más años, como la hembra que al servicio tiene tres o más años y no cumple con ninguna de las definiciones en (a) y (b). El rango de edades considerado fue de 3 a 7 años.

Las características analizadas fueron:

- i. Probabilidad de inseminación (Prob. IA), definida para la categoría de vaquillona como la probabilidad de que la hembra en servicio de inseminación artificial fuera efectivamente inseminada (con fecha de inseminación específica).
- ii. Días al parto con penalización de 21 días (DP) consideró las vacas en servicio de monta natural, con o sin parto registrado inmediatamente posterior al servicio correspondiente. La característica días al parto fue definida como los días entre la fecha de inicio de la monta natural, y el subsecuente parto registrado. Para las hembras sin registro de parto se utilizó la penalización

propuesta por Johnston & Bunter (1996). Mediante esta, se consideró como fecha de parto de dichas hembras, la última fecha de parto registrada del grupo de hembras contemporáneas más 21 días.

- iii. Éxito al parto (EP) definida como variable binomial en función del registro de parto (“1” paridas, “0” falladas) para las categorías de vaquillona, vaca de segundo servicio y vaca de 3 o más años. La definición de la característica se realizó en función de la categoría:

Éxito al parto en vaquillonas, valores de “0” y “1” para las hembras en servicio de IA con fecha de inseminación específica presentes como vaquillona.

Éxito al parto en vacas de 2° servicio y vacas de 3 o más años, valores de “0” y “1” para las vacas integrantes de los lotes de IA o MN.

Para la probabilidad de inseminación se consideró la información de 1.227 vaquillonas experimentales presentes en su primer servicio por inseminación artificial.

Para la característica éxito al parto, el número de registros utilizados por categoría se encuentra descrito en el Cuadro V.

Cuadro V. Número de registros totales para las características probabilidad de inseminación artificial, éxito al parto y días al parto.

	Prob. IA	Éxito al parto	Días al parto
Vaquillonas	1.227	958	
Vacas 2° servicio		458	460
Vacas 3 o más años		1.647	883
Total	1.227	3.063	1.343

Prob. IA= Probabilidad de inseminación artificial.

La característica días al parto fue medida en las categorías con MN (vacas de 2° servicio y vacas de 3 o más años). Como se presenta en el Cuadro V, se dispusieron de un total de 1.343 datos de 725 hembras experimentales para los servicios de 1997 al 2000, incluyendo vacas con días al parto penalizados (+21 días) y no penalizados. Las vacas sin registro de parto, por ende, con penalización de 21 días en DP fueron el 36% del total de registros disponibles para la característica.

En el Cuadro VI se presenta el número de hembras de los diferentes grupos genéticos por periodo de servicio y consiguiente parto.

Cuadro VI. Número de hembras en servicio según grupo genético y periodo.

Grupo genético ^a	Periodo de servicio ^b					
	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001
HH	14	56	138	161	174	205
AA				6	14	26
S/H	30	69	161	186	213	246
A/H	35	27	128	147	168	205
N/H	38	41	108	132	136	171
SH/SH					2	9
AH/AH					3	16
NH/NH					3	12
H/SH				6	17	30
SH/H					10	10
H/AH				6	10	20
H/NH				7	10	17
NH/H					6	5
A/AH				5	6	19
AH/A					9	9
S/SH				3	7	19
N/NH				1	7	13
Total	117	193	535	660	795	1032

HH=Hereford, AA=Angus, NN=Nelore, SS=Salers.

^a Grupo genético del padre y madre aparecen a la izquierda y derecha de la barra, respectivamente.

^b En el periodo de servicio arriba el año de comienzo y abajo el año de fin.

4.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.2.1 Análisis de efectos ambientales fijos

Los efectos ambientales fijos evaluados para las características fueron: grupo genético (GG), año de servicio, categoría, edad de la vaca al servicio, condición corporal (CC) de la vaca en el parto previo al servicio, mes de parto previo y tipo de servicio.

El grupo genético de la hembra fue definido como la raza, o combinación y proporción de razas que la componen. Los animales fueron de 17 grupos genéticos diferentes con información para las características estudiadas. Como se presenta en el Cuadro VI, el número de GG no fue el mismo para todos los periodos de servicios, por ejemplo, la

raza pura HH y F1 estuvieron desde el inicio del experimento para poder generar posteriormente las retrocruzas y F2.

El año de servicio fue considerado como el efecto del año en el cual se desarrolló el servicio, y que tuvo en cuenta mayormente los factores climáticos y de manejo a los que las vacas presentes en los servicios estuvieron expuestas.

La edad de la vaca al servicio fue calculada como la diferencia en años entre la fecha de nacimiento y la fecha de inicio de IA o monta natural. Como se presenta en el Cuadro VII, todas las vaquillonas fueron de dos años, las vacas de segundo servicio fueron de tres años, y las vacas de 3 o más años se agruparon en tres niveles diferentes: vacas de tres años (3 años), de cuatro años (4 años) y de 5 a 7 años (5 o más años).

Cuadro VII. Número de hembras en servicio por categoría, edad y grupo genético.

Edad (años)	Vaquillonas	Vacas 2° servicio	Vacas		
	2	3	3	4	5 o más
Grupo genético ^a					
HH	258	88	91	141	170
AA	29	6	8	3	
S/H	290	122	86	182	225
A/H	256	112	42	138	162
N/H	208	80	44	128	166
SH/SH	9	1	1		
AH/AH	16	1	2		
NH/NH	13	1	1		
H/SH	33	7	8	5	
SH/H	10	4	6		
H/AH	21	9	1	5	
H/NH	18	6	4	6	
NH/H	6	1	4		
A/AH	19	5	1	5	
AH/A	9	5	4		
S/SH	19	5	2	3	
N/NH	13	5	2	1	
Total	1227	458	307	617	723

HH=Hereford, AA=Angus, NN=Nelore, SS=Salers.

^a Grupo genético del padre y madre aparecen a la izquierda y derecha de la barra, respectivamente.

La condición corporal de la vaca al parto fue definida con los registros de CC al parto previo del servicio registrado correspondiente. El Cuadro VIII, presenta los seis niveles del efecto, donde s/d corresponde a aquellas vacas que no tuvieron registro de CC dado que no parieron, y por ende los días al parto fueron penalizados con +21 días.

Cuadro VIII. Número de registros por condición corporal (CC) al parto para los diferentes periodos de servicio considerados en días al parto.

CC	Periodo servicio ^b				Total
	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	
s/d	5	6	7	52	70
2	8	87		30	125
3	68	167	45	191	471
4	44	69	171	178	462
5	3		116	52	171
6			40	4	44

s/d Sin asignación de condición corporal al parto previo-

^b En el periodo de servicio arriba el año de comienzo y abajo el año de fin.

El mes de parto previo se definió como el mes de parto registrado inmediatamente previo al servicio en que estuvo registrada la vaca. Dado que la fecha de servicio es fija, este efecto mide el tiempo de recuperación posparto que tienen las vacas que paren en diferentes momentos de la estación de parto previa, y que ingresan en la misma fecha al servicio.

El efecto del tipo de servicio fue definido en función de sí la vaca fue servida por inseminación artificial o monta natural, y se considera únicamente para la característica éxito al parto, dado que la característica incluye información de ambos tipos de servicios. Este efecto incluye además en su definición, el efecto del ternero al pie de la madre, debido a que las vacas falladas (sin ternero al pie) fueron inseminadas y las vacas con ternero fueron servidas por monta natural.

Para determinar los efectos fijos a incluir en los modelos de estimación de medias y parámetros de cruzamientos se realizó un primer análisis de varianza. Luego de definidos los efectos ambientales a incluir en los modelos de medias y parámetros, se realizó un segundo análisis de varianza. Ambos análisis fueron realizados para la característica días al parto con PROC MIXED, y para probabilidad de IA y éxito al parto con PROC GLIMMIX (SAS Institute Inc. 2014).

4.2.2 Estimación de medias de grupos genéticos

La estimación de las medias de grupos genéticos se realizó con los modelos del Cuadro IX, los cuales incluyen efectos ambientales donde a excepción del grupo genético, la decisión de su inclusión fue en función de la significancia estadística para el primer análisis de varianza realizado.

Cuadro IX. Modelos de análisis utilizados para probabilidad de IA, éxito al parto y días al parto en las diferentes categorías de hembras.

Característica	Modelo
[1] Prob. IA y Éxito al parto	$y_{jko} = GG_j + YB_k + e_{jko}$
[2] Éxito al parto	$y_{jkmno} = GG_j + YB_k + S_m + v_n + e_{jkmno}$
[3] Días al parto	$y_{jklmo} = GG_j + YB_k + CC_l + P_m + e_{jklmo}$
[4] Días al parto	$y_{jklno} = GG_j + YB_k + CC_l + v_n + e_{jklno}$

Prob. IA= Probabilidad de inseminación artificial

y_{iko} e y_{jkmno} observaciones de probabilidad de IA y/o éxito al parto (valores de “0” y “1”)

y_{jklmo} e y_{jklno} observaciones de días al parto

GG_j efecto del j grupo genético (j=1, ..., 17)

YB_k efecto del k año de servicio (k=1995, ..., 2000)

CC_l efecto de la l condición corporal en el parto previo (l=s/d,2,3,4,5,6)

S_m efecto del m tipo de servicio (m=IA, MN)

P_m efecto del m mes de parto previo (m=9,10)

v_n efecto aleatorio de la n vaca $\sim N(0, I\sigma^2v)$ [2] (n=1, ..., 763) [4] (n=1, ..., 494)

e efectos de errores aleatorios de las observaciones en cada modelo $\sim N(0, I\sigma^2e)$

Las características probabilidad de IA y éxito al parto en las categorías de vaquillonas y vacas de segundo servicio fueron analizadas con modelos logísticos mixtos para datos binarios [1], y en vacas de 3 o más años, un modelo logístico mixto con medidas repetidas [2]. Para la implementación y análisis de ambos modelos se utilizó el procedimiento GLIMMIX (SAS Institute Inc. 2014), considerando una distribución binaria de los datos y con función de enlace Logit.

Para los días al parto (DP), se utilizó un modelo lineal fijo [3] en vacas de segundo servicio, y un modelo mixto de medidas repetidas [4] en vacas de 3 o más años. La implementación del modelo y análisis fue realizada mediante el procedimiento MIXED (SAS Institute Inc. 2014).

La comparación de las medias estimadas para los diferentes grupos genéticos de cada característica se realizó con test de Tukey mediante la función LSMEANS con la opción PDIF (SAS Institute Inc. 2014).

4.2.3 Estimación de parámetros de cruzamientos

La estimación de los parámetros de cruzamiento se realizó mediante la utilización de un modelo aditivo-dominante. Los efectos maternos no fueron considerados en el modelo general propuesto para las características dado que no son relevantes para características posteriores al destete como las reproductivas (Koch 1972).

Los parámetros genéticos aditivos y de heterosis fueron estimados mediante el modelo de cruzamiento directo definido por Komender & Hoeschele (1989). Las dependencias lineales entre las proporciones de cada raza fueron evitadas mediante el cálculo de los coeficientes de efectos aditivos como desvío de HH.

El modelo general utilizado para la estimación de los parámetros de cruzamientos [5] en las características probabilidad de IA, éxito al parto y días al parto fue:

$$y_{ijklmno} = YB_k + CC_l + S_m + v_n + \alpha_i^* g_i + \delta_{iH} h_{iH} + e_{ijklmno} \quad [5]$$

Donde $y_{ijklmno}$ son las observaciones de Prob. IA, EP y DP, YB_k , CC_l , S_m , v_n fueron iguales a los del modelo [1],[2],[3] y [4], g_i efecto aditivo de la raza i , h_{iH} efecto de heterosis del cruzamiento i con HH, $e_{ijklmno}$ efecto de errores aleatorios $N(0, I\sigma^2e)$, α_i proporción de la raza i en la vaca, la cual fue calculada como $\alpha_i = \frac{1}{2}(\alpha_i^S + \alpha_i^D)$ y expresada como diferencia con HH: $\alpha^* = \alpha_i - \alpha_{HH}$, δ_{iH} como probabilidad que al tomar al azar un *locus* de un individuo, un alelo sea de la raza i y el otro de HH. Fue calculada como $\delta_{iH} = \alpha_i^S \alpha_{HH}^D + \alpha_{HH}^S \alpha_i^D$, donde α_i^S y α_i^D es la contribución de la raza i en el individuo por el padre y la madre, y α_{HH}^S y α_{HH}^D como la contribución de la raza HH en el individuo por el padre y madre, respectivamente.

El análisis estadístico fue realizado mediante PROC MIXED para los días al parto, y PROC GLIMMIX para probabilidad de inseminación y éxito al parto, ambos con la sentencia ESTIMATE (SAS Institute Inc. 2014).

Para el cálculo de las medias de grupos genéticos en función de los parámetros estimados por el modelo [5], se utilizó la fórmula [6] que combina las proporciones de cada raza y los parámetros genéticos de cruzamientos estimados, como se presenta a continuación:

$$xH = (\alpha_H HH) + (\alpha_A g_A) + (\alpha_N g_N) + (\alpha_S g_S) + (\delta_{AH} h_{AH}) + (\delta_{NH} h_{NH}) + (\delta_{SH} h_{SH}) \quad [6]$$

Donde xH es la media de cualquier raza x cruza con HH; HH media estimada del grupo genético Hereford; α_H , α_A , α_N , α_S proporción de cada raza en la vaca; δ_{AH} , δ_{NH} , δ_{SH} probabilidad que al tomar al azar un *locus* de un individuo, un alelo sea de la raza A, N o S y el otro de HH; g_A , g_N , g_S , h_{AH} , h_{NH} , h_{SH} parámetros genéticos aditivos y heterosis para las diferentes razas y combinaciones de ellas.

Para la transformación logarítmica de los parámetros obtenidos mediante la sentencia ESTIMATE, se utiliza la sentencia ILINK en PROC GLIMMIX (SAS Institute Inc.

2014) que transforma las estimaciones expresadas en valores de la escala subyacente continua, en valores de probabilidad (variable respuesta binomial). El procedimiento realiza la transformación mediante la aplicación de la inversa de la función de enlace [7]:

$$\pi = \frac{1}{1+\exp\{a\}} \quad [7]$$

Donde π es la estimación expresada en probabilidad (variable respuesta binomial), $\exp\{a\}$ es el exponencial de la estimación (a) expresada en valores de la escala subyacente, y a es el modelo utilizado para cada característica con los efectos fijos y parámetros (modelo [5]).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 EFECTOS AMBIENTALES FIJOS

El análisis de varianza (del tipo III) y las medias estimadas de los efectos fijos para las características probabilidad de IA, éxito al parto y días al parto se presentan en los Cuadros X y XI. Las medias estimadas del efecto de grupo genético no están presentes en el Cuadro XI, dado que aparecen más adelante en los Cuadros XII y XIII.

Cuadro X. Grados de libertad, valores de F y niveles de significancia del análisis de mínimos cuadrados para las características probabilidad de IA, éxito al parto y días al parto.

Efecto	Prob. IA		Éxito al parto						Días al parto			
			Vaquillonas		Vacas 2° servicio		Vacas 3 o más años		Vacas 2° servicio		Vacas 3 o más años	
Tipo de servicio	-	-	-	-	-	-	1	11,25***	-	-	-	-
Mes de parto	-	-	-	-	-	-	-	-	1	5,03*	-	-
CC	-	-	-	-	-	-	-	-	5	2,30*	5	4,44***
Año	5	5,24***	5	5,29***	3	14,56***	3	6,03***	3	32,22***	3	9,25***
Grupo genético	16	4,88***	16	1,95*	16	0,82	16	1,43	16	1,12	11	4,42***

Para cada característica y categoría, se presenta los grados de libertad seguido por el valor de F.

Prob. IA= Probabilidad de inseminación artificial.

Año= Año de servicio, CC= Condición corporal de la vaca en parto previo al servicio, Mes de parto= Mes de parto previo al servicio.

Valores de F seguidos por *** ($P < 0,001$), ** ($P < 0,01$), * ($P < 0,05$), son diferentes significativamente a la hipótesis nula.

El efecto del año resulta clave para la evaluación del desempeño reproductivo, dado que en los sistemas extensivos que caracterizan a Uruguay, la variabilidad climática anual afecta el crecimiento de las pasturas y por ende la alimentación de las vacas de cría. Diversos autores, Cundiff et al. (1974), Crockett et al. (1978), Johnston & Bunter (1996), Donoghue et al. (2004b) y Urioste et al. (2007b) han reportado la significancia del efecto año o efectos similares como mes de servicio sobre las características reproductivas.

En este trabajo, el año de servicio fue significativo para todas las características analizadas (Cuadro X). Las medias de éxito al parto para los años 1999 y 2000 fueron bajas con respecto al año control (1997) para las tres categorías, esto pudo deberse a la sequía de dichos años que obligó a realizar destete precoz en febrero y que pudo afectar el desempeño reproductivo en el servicio correspondiente y el siguiente. Con relación a las medias estimadas para los días al parto, que se presenta en el Cuadro XI, las vacas de segundo servicio y de tres o más años tuvieron 20 y 30 días más al

parto, respectivamente, para 1998, 1999 y 2000 en comparación con 1997. Mientras, las diferencias estimadas entre los años 1998, 1999 y 2000 fueron de entre 1 y 14 días más al parto.

La condición corporal de la vaca, y el mes de parto fueron registrados en el parto inmediatamente previo al servicio, y ambos resultaron significativos para los días al parto (Cuadro X). Esto coincide con la relevancia que tiene la condición corporal para monitorear el estado de los rodeos de cría en nuestro país.

Los trabajos realizados con razas británicas por Quintans et al. (2010) y Soca et al. (2014), demostraron que alcanzar el parto con buena condición corporal ($CC \geq 4$) resulta clave para aumentar el número de vacas que al servicio reestablecen la actividad ovárica, y por ende tener mayores probabilidades de que la vaca sea servida en la primera parte del servicio, acortando así los días al parto. En este mismo sentido, Short et al. (1990) expresaron que estos factores como la CC y el mes de parto son determinantes para el restablecimiento de la actividad ovárica y la condición de la vaca para el siguiente servicio, afectando la duración del intervalo parto-primer celo e intervalo parto-preñez (Richards et al. 1986).

Como se presenta en el Cuadro VIII, la distribución de los animales en los diferentes niveles de condición se concentró en valores de CC entre 3 y 4. Las diferencias entre medias estimadas para los niveles menores a 4 fueron significativas con respecto a la $CC=4$ (Cuadro XI).

Para el mes de parto previo, se observa en el Cuadro XI una diferencia significativa de 6 días, en favor de aquellas vacas que parieron en septiembre, y que tuvieron como vacas de primer parto un mayor tiempo de recuperación para lograr preñarse más temprano en el servicio. Morris (1984) destacó la relevancia del mes de parto previo, dado que aumenta el intervalo entre partos y por ende afecta la característica días al parto.

Cuadro XI. Medias estimadas para las características probabilidad de IA, éxito al parto y días al parto por efectos ambientales.

Prob. IA	Éxito al parto		Días al parto	
	Vaquillonas	Vacas 2° servicio	Vacas 2° servicio	Vacas 3 o más años
<i>Tipo de servicio</i>				
IA ^a		0,85(19,0)		
MN		0,89(14,1) ^{***}		
<i>Mes de parto</i>				
09 ^a			361,9(6,1)	

10					368,0(5,9)**	
<i>CC</i>						
2					367,2(5,2)	341,5(7,8)
3					367,2(4,3)*	347,1(6,4)***
4 ^a					358,8(4,8)	338,3(6,5)
5					362,9(6,9)	334,6(6,9)
6					334,7(16,7)	330,7(8,0)
s/d					399,2(19,5)*	349,1(6,8)**
<i>Año</i>						
1995 ^a	0,89(8,1)	0,89(1,7)				
1996	0,88(8,4)	0,81(2,6)				
1997 ^b	0,88(8,2)	0,82(2,5)	0,46(10,4)	0,91(12,0)	344,1(6,7)	317,4(8,5)
1998	0,93(5,0)	0,83(2,4)	0,18(6,2)***	0,86(18,1)*	378,9(6,8)***	348,2(6,6)***
1999	0,93(5,1)	0,77(2,9)*	0,37(9,8)	0,83(21,1)***	372,3(6,2)***	349,9(6,4)***
2000	0,96(3,2)***	0,67(3,8)***	0,63(9,8)*	0,88(15,4)	364,6(6,1)***	345,3(6,1)***

() Entre paréntesis se presenta el desvío estándar.

Prob. IA= Probabilidad de inseminación artificial.

Año= Año de servicio, CC= Condición corporal de la vaca en parto previo al servicio, Mes de parto= Mes de parto previo al servicio.

Valores seguidos por *** ($P < 0,001$), ** ($P < 0,01$), * ($P < 0,05$), son diferentes significativamente al nivel de referencia.

^a Año de referencia para el efecto año en probabilidad de IA y éxito al parto en vaquillonas.

^b Año de referencia para el efecto año en éxito al parto en vacas de segundo servicio y de 3 o más años, y en días al parto.

El efecto del tipo de servicio para las vacas de 3 o más años, incluyó en su definición los efectos del servicio (IA o MN) y la presencia del ternero al pie de la madre al momento del servicio. Como se presenta en el Cuadro X y XI, el efecto resultó significativo y las medias fueron diferentes entre sí. Este resultado fue similar a lo reportado por Donoghue et al. (2004b), sin embargo no fue lo esperado que la media de MN (89%) fuera mayor significativamente a la de IA (85%). Este resultado podría estar explicado por el mayor número de vacas N/H en monta natural, y por la presencia de grupos genéticos (algunas retrocruzas y cruas F2) en IA que no están presentes en la MN.

En este estudio la probabilidad de IA presenta una media general de 78%. En Uruguay, el 62,4% de los animales registran su primer servicio entre los 2 y 3 años, con un manejo nutricional mayoritariamente a base de campo natural. Sin embargo, en este

experimento las vaquillonas fueron manejadas sobre campo natural con suplementación invernal para que lleguen a su primer servicio con buen desarrollo y condición. Este manejo podría explicar que las $\frac{3}{4}$ partes de las hembras experimentales presentes a su primer servicio con dos años fueran efectivamente inseminadas. El resultado obtenido está en concordancia con lo expresado por Quintans et al. (2008) quienes afirmaron que los principales factores que afectan la llegada a la pubertad son la alimentación y la genética.

En el caso del éxito al parto, la media fue de 74% en vaquillonas, 44% en vacas de segundo servicio y 70% en vacas de 3 o más años. Estos resultados en promedio son similares al 65% de procreo anual obtenido en Uruguay en los últimos años (DIEA 2019), y presentan la misma problemática identificada en los rodeos de cría, donde las vacas de segundo entore presentan los menores valores para la característica. Según resultados de la Encuesta de Preñez realizada por DIEA (2009) las vacas falladas y vaquillonas fueron las que presentaron las mayores tasas de preñez y consiguiente parto (76% y 74%, respectivamente), mientras las vacas de segundo entore con ternero al pie presentaron 61%. Las vacas están sometidas a los bajos planos nutricionales que se manejan en nuestros rodeos, mayormente a base de campo natural, combinado con altos requerimientos de animales que continúan creciendo, y a su vez tienen que destetar un ternero (Quintans et al. 2008).

La media general de días al parto para el experimento fue de 352 días. Si la expresamos con referencia al primero de julio, la media fue de 141 días. Este resultado fue similar a los 129 días al parto para vacas de segundo servicio obtenido por Gimeno et al. (2002), utilizando parte de la información de este experimento, pero sin incluir la penalización de 21 días para aquellas vacas que no tuvieron parto registrado.

En general los resultados reportados en la bibliografía para esta característica son menores a los obtenidos en el presente trabajo. Azzam & Nielsen (1987) utilizaron razas continentales (Simmental, Limousin, Maine-Anjou y Gelbvieh) y obtuvieron valores de 106 y 108 días al parto (días julianos) para vacas en su segunda y tercera parición. Cundiff et al. (1974) y Cushman et al. (2007) trabajando con información de Clay Center en Nebraska obtuvieron valores de días al parto, expresados en días julianos (días corridos del año hacia el 20 de junio), muy inferiores a los presentados en este trabajo. En dicho estudio, las vacas de 2, 3 y 4 años presentaron 71,2, 91,6 y 95,7 días al parto. Las diferencias con los resultados del presente trabajo pueden deberse a la utilización de periodos de servicio más cortos de 45 a 60 días (en nuestro trabajo se utilizó 90 días como caracteriza a los rodeos de Uruguay), y a mayores niveles de alimentación, dado que las en este trabajo las vacas adultas pastoreaban campo natural sin ningún tipo de suplementación.

Los resultados por categoría muestran que las vacas de segundo servicio presentaron en promedio 366 días al parto y las vacas de 3 o más años 340 días (155 y 129 días con referencia al primero de julio, respectivamente). La mayor cantidad de días para las de segundo servicio sigue con la lógica presentada para éxito al parto donde estas

vacas deben recuperarse de su primer servicio y criar un ternero, mientras continúan creciendo.

5.2 MEDIAS ESTIMADAS DE GRUPOS GENÉTICOS

Los resultados del efecto del grupo genético no fueron consistentes a lo largo de todas las características evaluadas en este trabajo. Como se presenta en el Cuadro IX, el grupo genético fue significativo para probabilidad de IA, y no para éxito al parto y días al parto. Las medias de las características reproductivas fueron estimadas para razas puras y diferentes cruzas británicas-británicas, británicas-continetales y británicas-cebuinas, las cuales son presentadas en los Cuadros XII y XIII.

5.2.1 Probabilidad de IA

Las medias ajustadas según el modelo [1] para la característica probabilidad de IA en el primer servicio como vaquillona aparecen presentadas en el Cuadro XII. El efecto de grupo genético fue significativo para la característica.

Para probabilidad de IA las cruzas F1 fueron superiores a las puras HH ($P < 0,001$) (Cuadro XII). Si se consideran las medias estimadas para las F1, un mayor porcentaje de vaquillonas cruza A/H y N/H fueron efectivamente inseminadas, en comparación a la cruza S/H ($P < 0,01$).

Desde un punto de vista biológico, la característica mide la capacidad de la hembra para alcanzar su primer servicio como vaquillona a los dos años. Este objetivo implica que la vaquillona debe desarrollarse adecuadamente para alcanzar la pubertad, y posteriormente, estar ciclando al servicio para ser inseminada. En la bibliografía no se encuentran mayores reportes de esta característica medida en cruzas, pero sí relacionados con edad a la pubertad, medida como edad al primer celo, que explica parte del proceso. Gregory et al. (1978b) trabajando con cruzas británicas-británicas y británicas-continetales encontraron que la raza AA y RR en cruzas alcanzan a edades más tempranas la pubertad que la raza HH, y Laster et al. (1973) presentaron que las cruzas H/A tenían una edad a la pubertad 19,5 días menor que el promedio. Con relación a las cruzas cebuinas, Cundiff et al. (1993) presentaron que la raza NN alcanza la pubertad con 412 días de edad, y por ende sus cruzas van a alcanzar la pubertad más tardíamente que las razas británicas.

Cuadro XII. Medias de probabilidad de inseminación artificial y éxito al parto en vaquillonas, vacas de 2° servicio y vacas de 3 o más años.

Grupo genético ^a	Prob. IA		Éxito al parto					
	Vaquillonas		Vaquillonas		Vacas 2° servicio		Vacas 3 o más años	
HH	258	0,63(0,03)	159	0,79(0,03)	88	0,36(0,05)	402	0,73(0,02)
AA	29	0,90(0,07)*	27	0,54(0,10)**	6	0,27(0,18)	11	0,66(0,14)

Cruzas F1

S/H	290	0,77(0,03)***	219	0,82(0,03)	122	0,43(0,05)	493	0,68(0,02)
A/H	256	0,90(0,02)***	229	0,79(0,03)	112	0,45(0,05)	342	0,70(0,03)
N/H	208	0,87(0,02)***	178	0,70(0,03)*	80	0,59(0,06)**	338	0,78(0,02)
<i>Retrocruzas</i>								
H/SH	33	0,56(0,09)	22	0,85(0,07)	7	0,41(0,19)	13	0,43(0,14)*
SH/H	10	0,66(0,16)	7	0,62(0,18)	4	0,54(0,29)	6	0,69(0,19)
H/AH	21	0,93(0,07)	20	0,86(0,07)	9	0,72(0,16)	6	0,66(0,19)
H/NH	18	0,77(0,11)	15	0,80(0,10)	6	0,27(0,18)	10	0,23(0,14)**
NH/H	6	0,45(0,21)	3	0,38(0,29)	1	0,00	4	0,75(0,22)
A/AH	19	0,91(0,08)	18	0,67(0,11)	5	0,42(0,23)	6	1,00(0,00)
AH/A	9	1,00(0,00)	9	0,60(0,17)	5	0,61(0,27)	4	1,00(0,00)
S/SH	19	0,62(0,13)	14	0,86(0,08)	5	0,28(0,19)	5	0,82(0,17)
N/NH	13	0,51(0,15)	8	0,82(0,12)	5	0,37(0,22)	3	0,36(0,29)
<i>Cruzas F2</i>								
SH/SH	9	0,66(0,18)	7	0,72(0,16)	1	1,00(0,01)	1	0,00
AH/AH	16	0,70(0,14)	13	0,54(0,15)*	1	0,00	2	1,00(0,00)
NH/NH	13	0,65(0,15)	10	0,46(0,17)*	1	1,00(0,01)	1	0,00

Para cada categoría, se presenta el número de hembras en servicio seguido por la media estimada y entre paréntesis el desvío estándar.

HH=Hereford, AA=Angus, NN=Nelore, SS=Salers.

Prob. IA= Probabilidad de inseminación artificial.

^a Grupo genético del padre y madre aparecen a la izquierda y derecha de la barra, respectivamente.

Medias en la misma columna (misma característica) seguidas por *** ($P<0,001$), ** ($P<0,01$), * ($P<0,05$) son diferentes significativamente de HH.

5.2.2 Éxito al parto

Las medias de éxito al parto para las diferentes categorías estimadas en función de los modelos [1] y [2] se presentan en el Cuadro XII. Es relevante mencionar que en el Cuadro IX, se presenta que el efecto de grupo genético fue significativo únicamente para las vaquillonas, y no para las restantes dos categorías analizadas. Este resultado podría deberse a la distribución de los registros por categoría y grupo genético en cada servicio (Cuadro VII), dado que las vaquillonas tienen una mayor representación de todos los grupos genéticos.

Los resultados de éxito al parto para vaquillonas cruza Aberdeen Angus-Hereford y Salers-Hereford fueron los más altos para esta característica. A su vez, fueron similares entre sí y con HH. Las F1 y F2 británica-cebuina presentaron diferencias de -9% y -33% de éxito al parto en su primera IA, respectivamente (Cuadro XII) con respecto al 79% de éxito de la raza HH. Sin embargo, como vacas de segundo servicio la craza N/H presentó 23% más de éxito al parto, diferenciándose significativamente de HH, y de las demás F1 ($P<0,1$). Y en las vacas adultas con más de un servicio, nuevamente las medias de éxito al parto fueron superiores para la primera craza

Nelore-Hereford, presentando diferencias significativas con S/H ($P<0,01$) y A/H ($P<0,001$), pero no con HH, a pesar de que la diferencia fue de 5% de éxito.

En vaquillonas, los resultados coinciden con los de tasa de parto presentados por Cundiff et al. (1974) y Williams et al. (1991), donde para las cruzas no se encontraron diferencias significativas. A su vez, el resultado obtenido en este trabajo, sigue la línea de lo reportado por Cundiff et al. (1993), donde las vaquillonas *Bos Indicus* y sus cruzas demoran más en alcanzar la pubertad que las *Bos Taurus*, y por ende la tasa de concepción a edades tempranas es menor. A pesar de esto, la craza Nelore-Hereford mejora su desempeño reproductivo como vacas adultas (Cuadro XII).

Para las vacas adultas con más de un servicio, Turner et al. (1968) reportaron resultados donde las cruzas recíprocas Brahman-Hereford presentaron 18,8% más tasa de parición que ambas razas puras ($P<0,01$), y con valores superiores a los encontrados en este trabajo de 84,7%. Por su parte, Crockett et al. (1978) presentaron para tasa de preñez valores de 8,5% y 4,4% superiores para cruzas con padres Cebú (Brahman) y madres británicas (Angus y Hereford). Turner et al. (1968) y Cundiff et al. (1974) presentaron valores de 68,2% y 78% para tasa de parto en vacas A/H, los cuales fueron similares a los obtenidos en este trabajo. Las diferencias en medias pueden deberse a los diferentes planos nutricionales manejados en los experimentos desarrollados en Estados Unidos.

En el Cuadro XII fueron presentados los resultados de las medias de todos los grupos genéticos, sin embargo, las medias estimadas con bajo número de hembras en servicio no fueron consistentes, y no es posible discutir sobre ellas dado que no representan el real desempeño reproductivo de dichos grupos.

En general, la craza Aberdeen Angus-Hereford presentó el mejor desempeño como vaquillonas, dado que la media de probabilidad de IA fue mayor al 90%, e importantes valores de éxito al parto en su primer servicio. Sin embargo, y a pesar de que la craza N/H presentó bajos valores de probabilidad de IA como vaquillona a su primer servicio con 2 años, lo cual coincide con lo reportado por Cundiff et al. (1993), la craza Nelore-Hereford mejora su desempeño reproductivo como vaca adulta en las condiciones productivas del experimento.

5.2.3 Días al parto

Las medias de días al parto fueron estimadas con los modelos [3] y [4]. En el Cuadro XIII se presentan las medias para vacas de segundo servicio y vacas de 3 o más años de raza pura y cruzas entre las razas Aberdeen Angus, Hereford, Salers y Nelore.

Cuadro XIII. Medias de días al parto para vacas de 2° servicio y vacas de 3 o más años.

Grupo genético ^a	Días al parto
-----------------------------	---------------

	Vacas 2° servicio		Vacas 3 o más años	
HH	88	364(5,1)	203	345(2,7)
AA	6	371(11,9)	2	371(21,2)
<i>Cruzas F1</i>				
S/H	122	362(4,9)	265	347(2,5)
A/H	112	361(5,0)	183	340(2,8)
N/H	80	358(4,8)	219	331(2,6)***
<i>Retrocruzas</i>				
H/SH	7	372(11,2)	2	363(21,1)
SH/H	4	340(14,3)		
H/AH	9	350(10,1)	3	324(17,3)
H/NH	6	373(11,6)	1	399(29,7)
NH/H	1	412(27,3)	1	290(29,8)
A/AH	5	365(12,9)	2	342(21,1)
AH/A	5	359(13,0)		
S/SH	5	372(12,8)	1	328(29,7)
N/NH	5	366(13,0)	1	301(29,8)
<i>Cruzas F2</i>				
SH/SH	1	355(27,2)		
AH/AH	1	412(27,3)		
NH/NH	1	341(27,3)		

Para cada categoría, se presenta el número de hembras en servicio seguido por la media estimada y entre paréntesis el desvío estándar.

HH=Hereford, AA=Angus, NN=Nelore, SS=Salers.

^a Grupo genético del padre y madre aparecen a la izquierda y derecha de la barra, respectivamente.

Medias en la misma columna (misma característica) seguidas por *** ($P<0,001$), ** ($P<0,01$), * ($P<0,05$) son diferentes significativamente de HH.

Las vacas de segundo servicio cruza F1 no presentaron diferencias significativas con la raza pura HH. A su vez para esta categoría las cruza F1, retrocruzas y F2 tampoco fueron diferentes significativamente para días al parto. En vacas adultas de 3 o más años, la crusa N/H fue significativamente diferente a HH, y a las F1 S/H ($P<0,001$) y A/H ($P<0,05$). Estas últimas vacas cruza Abredeem Angus-Hereford y Salers-Hereford no fueron estadísticamente diferentes de la raza pura HH.

Estos resultados podrían explicarse en función del Cuadro IX, en el cual el efecto del grupo genético no fue significativo para ambas categorías. Los efectos del año de servicio, la condición corporal y el mes de parto previo de la vaca tuvieron una relevancia mayor para la característica.

Los resultados son difíciles de comparar con otros autores, ya que son pocas las estimaciones de días al parto para cruzas británicas-cebuinas. Los experimentos de la región de Florida, Estados Unidos que utilizaron la raza Brahman por presentar buena adaptación a las condiciones subtropicales de la región, reportaron para la característica edad del ternero al destete (medida como los días entre el inicio del servicio y destete) y fecha de nacimiento del ternero valores superiores para las cruzas británicas con Brahman (Olson et al. 1990, Williams et al. 1991).

En este trabajo las vacas adultas HH tuvieron una media de 345 días al parto, coincidente con lo reportado por Cundiff et al. (1974). Estos autores midieron el día de parto dentro de una estación de partos de 84 días de duración, y obtuvieron que las vacas HH eran las últimas en parir cuando fueron apareadas con toros AA y Shorthorn. Los resultados obtenidos para las cruzas británicas-británicas y británicas-continetales fueron diferentes de los reportados por Cundiff et al. (1974) donde las vacas adultas cruza recíprocas A/H presentaron menores valores de fecha de parto que HH. Trabajos realizados con la característica largo de gestación, reportaron que cuando se utilizaban razas británicas (AA) como padres se reducía el largo de gestación, y cuando utilizaron razas cebuinas como NN, se incrementó (Cundiff et al. 1998; Lema et al. 2011).

A nivel productivo, la relevancia de la característica días al parto radica en que animales que conciben más temprano durante el periodo de servicio, tendrán el parto en la primera parte de la estación de partos y podrán generar terneros de mayor edad y desarrollo al destete (Bourdon & Brinks 1982; Azzam & Nielsen 1987), así como alcanzar el siguiente servicio con mejor condición (Short et al. 1990).

En el Cuadro XIII fueron presentados los resultados de las medias de todos los grupos genéticos. Las medias para retrocruzas y F2 consideraron menos de 10 hembras, por lo cual no es posible discutir sobre ellas y ni hacer una comparación con los demás grupos. Con respecto a los resultados obtenidos para puras y F1, las vacas Nelore-Hereford fueron las que presentaron los mejores valores de días al parto para las categorías de segundo servicio y vacas adultas. Y si se considera el éxito al parto, las cruza F1 N/H fueron las de mayor éxito como vacas de 3 o más años.

5.3 PARÁMETROS DE CRUZAMIENTOS

Los parámetros genéticos de cruzamiento para las características probabilidad de IA, éxito al parto y días al parto se presentan en los Cuadros XIV y XV, respectivamente.

Cuadro XIV. Estimación de parámetros de cruzamiento expresados en la variable subyacente normal para las características de probabilidad de inseminación artificial y éxito al parto.

Prob. IA

Éxito al parto

		Vaquillonas	Vacas 2° servicio	Vacas 3 o más años
HH ^a	0,35(0,43)	1,04(0,46)	-1,06(0,67)	-0,26(0,29)
Efectos aditivos ^b				
g ^I _A	2,27(0,67)**	0,07(0,37)	-0,74(0,73)	-0,13(0,27)
g ^I _N	-1,30(1,08)	0,95(1,26)	-1,62(1,70)	-1,27(0,78)
g ^I _S	-0,04(1,04)	1,79(1,20)	-1,34(1,84)	-0,07(0,73)
Heterosis ^c				
h ^I _{AH}	0,82(0,41)**	0,59(0,27)**	0,52(0,45)	0,51(0,16)**
h ^I _{NH}	2,23(0,62)***	-0,32(0,68)	1,41(0,93)	1,24(0,41)**
h ^I _{SH}	0,96(0,56)†	-0,04(0,65)	0,66(0,97)	0,39(0,38)

() Entre paréntesis se presenta el desvío estándar.

Prob. IA=Probabilidad de inseminación.

Valores expresados en la escala de la variable subyacente de distribución normal.

^aMedia ajustada de probabilidad de inseminación y éxito al parto.

^bg^I_A, g^I_N, g^I_S son efectos aditivos individuales de las razas Angus, Nelore y Salers como desvío de Hereford.

^ch^I_{AH}, h^I_{NH}, h^I_{SH} son heterosis individual entre Angus – Hereford, Nelore – Hereford y Salers – Hereford, respectivamente.

Valores de parámetros seguidos por *** ($P < 0,001$), ** ($P < 0,01$), * ($P < 0,05$) o † ($P < 0,10$), son diferentes significativamente a la hipótesis nula.

Las estimaciones de los parámetros de cruzamiento del Cuadro XIV, son expresadas en la escala de la variable subyacente normal, los cuales deben ser transformados mediante la función logarítmica inversa (fórmula [7]) a valores de probabilidad de las características. A partir de dichas estimaciones, se pueden calcular las medias de grupos genéticos evaluados y de diferentes combinaciones de grupos que no fueran evaluados durante el experimento.

Como ejemplo, se consideran los parámetros estimados para probabilidad de IA en vaquillonas (Cuadro XIV). El cálculo de las medias de prob. IA para las cruza F1 se realiza primero mediante el cálculo del valor de la media en la escala subyacente con la aplicación de la fórmula [6], seguido de la transformación logarítmica inversa (fórmula [7]) del resultado obtenido.

$$A/H = (0,5 * 0,35) + (0,5 * 2,27) + (1 * 0,82) = 2,13$$

$$A/H = \frac{1}{1 + \exp\{2,13\}} = \mathbf{0,89}$$

$$N/H = (0,5 * 0,35) + (0,5 * -1,30) + (1 * 2,23) = 1,75$$

$$N/H = \frac{1}{1 + \exp\{1,75\}} = \mathbf{0,85}$$

$$S/H = (0,5 * 0,35) + (0,5 * -0,04) + (1 * 0,96) = 1,11$$

$$S/H = \frac{1}{1 + \exp\{1,11\}} = \mathbf{0,75}$$

En la Figura 2 se presentan las típicas graficas en forma de “templo griego” , la cual fue utilizada por Cunningham (1987) para representar los parámetros genéticos de cruzamientos. En particular las mismas presentan el desempeño de las razas puras y cruza para la característica probabilidad de IA, donde para la raza Nelore (segunda grafica) se encuentran los valores más altos de heterosis, a pesar de que la media de la F1 es superada por la F1 A/H (primera grafica).

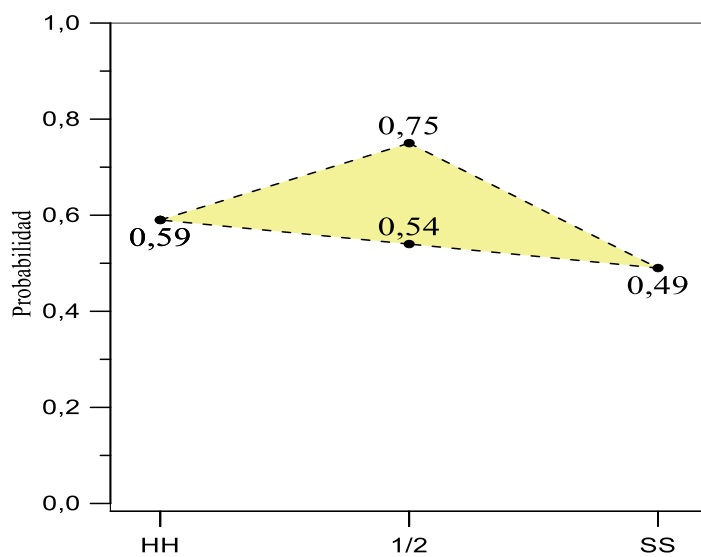
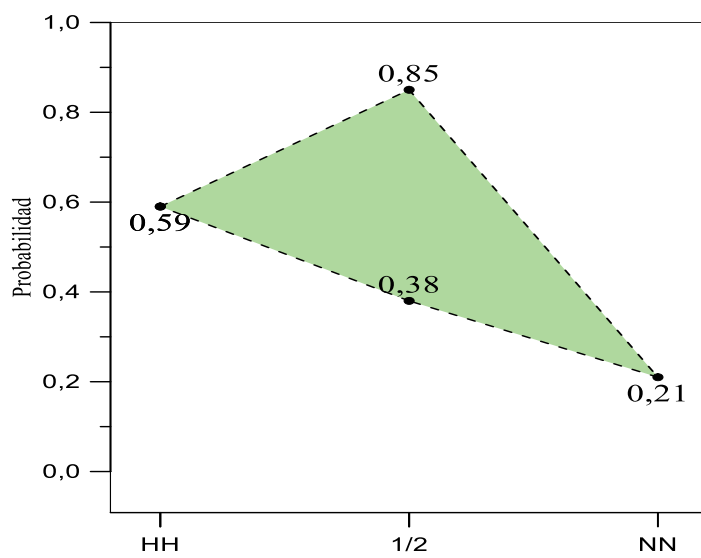
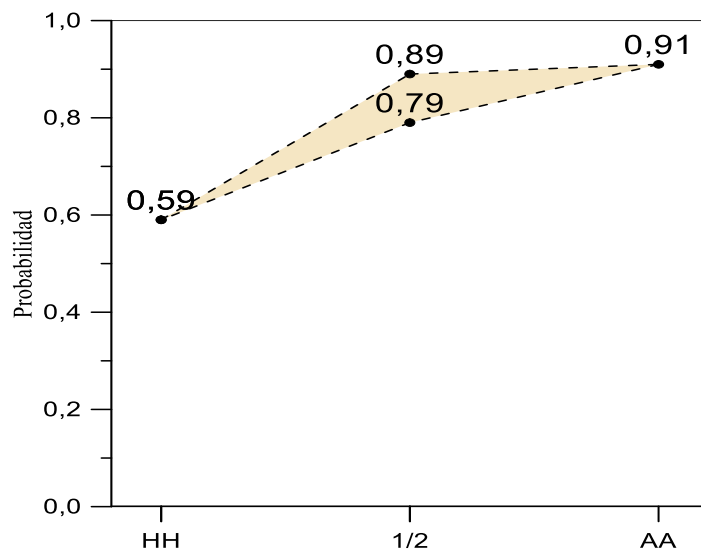


Figura 2. Medias estimadas para probabilidad de inseminación artificial en vaquillonas para las razas Hereford (HH), Aberdeen Angus (AA), Nelore (NN) y Salers (SS), promedio entre razas y primeras cruas (1/2).

Los efectos genéticos aditivos de AA, NN y SS con relación a HH, para la característica éxito al parto no fueron significativos ($P>0,05$) para ninguna de las categorías analizadas. Peacock & Koger (1980) trabajando con razas británicas, cebuinas y continentales presentaron valores no significativos de g^I de +1,5% en AA, -0,1% en Brahman (B) y -1,4% en Charolais (C) para tasa de parto. Por su parte, Olson et al. (1990) reportaron valores significativos de g^I en Brahman en comparación con Angus de +6%.

El h^I entre AA y HH fue significativo en vaquillonas y vacas de 3 o más años. Este resultado coincide con lo reportado por Turner et al. (1968) y Cundiff et al. (1974) que trabajando con las características cosecha de terneros y porcentaje de terneros nacidos respectivamente, obtuvieron valores de h^I positivos para las cruzas británicas-británicas, y estimaciones significativas para la F1 (A/H), en comparación con la media parental. Por su parte, Williams et al. (1991) para la tasa de parto en cruzas de razas británicas, cebuinas y continentales obtuvieron un valor de +7,6% para h^I_{AH} , expresada con relación a la media de la característica en el experimento.

En la Figura 3 se presenta la media de éxito al parto en vaquillonas de diferentes combinaciones de HH y AA, calculadas en función de los parámetros de cruzamiento estimados. Las cruzas con mayores proporciones de Hereford en su composición presentan valores superiores para éxito al parto.

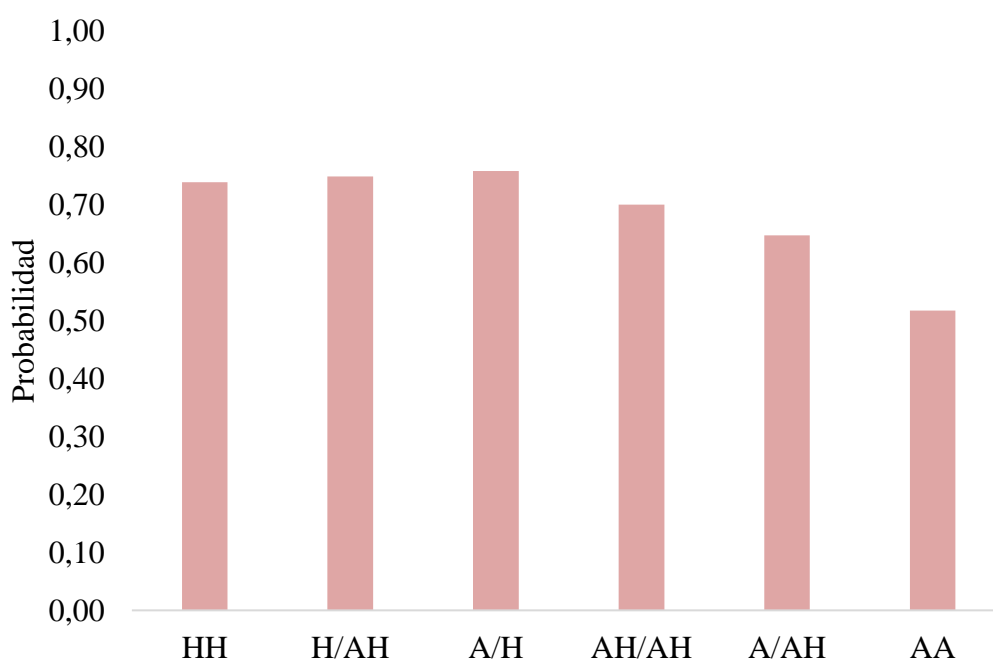


Figura 3. Medias de éxito al parto de vaquillonas Hereford (HH), Angus (AA) y sus cruzas calculadas a partir de los parámetros de cruzamiento estimados.

El h^I entre NN y HH fue significativo únicamente para la categoría de vacas adultas de 3 o más años, donde el resultado obtenido coincide con los reportados por Franke (1980), Peacock & Koger (1980), Olson et al. (1990) y Williams et al. (1991) para las características tasa de parto y status de preñez. Esta última fue medida como una

variable binomial que utiliza los registros de parto para su definición. Dichos autores utilizaron cruzas entre razas británicas como AA, HH y Shorthorn, y cebuinas como Brahman. Los valores de heterosis reportados para las cruzas cebuinas-británicas son superiores a los de cruzas británicas-británicas y británica-continentales. Para la craza A/B (F1 Angus-Brahman) y B/H (F1 Brahman-Hereford) las estimaciones de h^1 fueron de +12,1% y +20,5% con relación a la media de tasa de parto del experimento (Williams et al. 1991). En dichos resultados se puede encontrar que como en este trabajo, a pesar de no ser comparables en magnitud, la craza N/H fue quien presentó los mayores valores de heterosis para las categorías de vacas de segundo servicio y vacas de 3 o más años.

Las vacas de 3 o más años de grupo genético N/H fueron las que presentaron los mayores valores de éxito al parto, cuando se calculan las medias a partir de los parámetros estimados (Figura 4). A su vez, las cruzas con mayores proporciones de HH, como la craza 3/4H 1/4N presentaron mayores valores de éxito al parto.

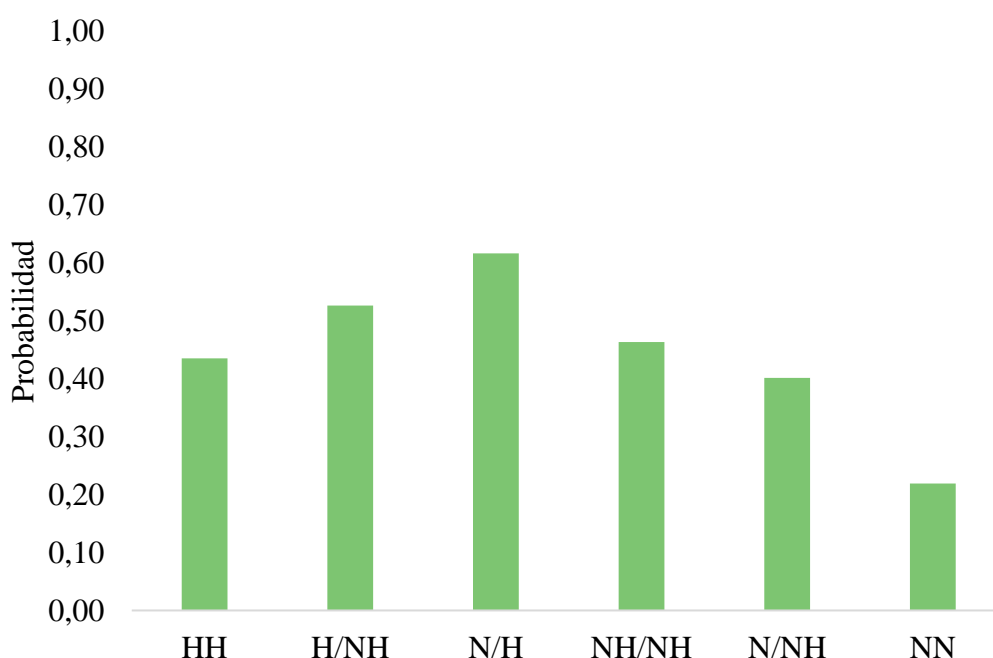


Figura 4. Medias éxito al parto de vacas de 3 o más años Hereford (HH), Nelore (NN) y sus cruzas calculadas a partir de los parámetros de cruzamiento estimados.

El h^1 entre SS y HH no fue significativo. Este resultado coincide con Peacock & Koger (1980) y Williams et al. (1991) los cuales con cruzas británicas-continentales como A/C (F1 Angus-Charolais) y C/H (F1 Charolais-Hereford), obtuvieron estimaciones de heterosis no significativas y a su vez estas fueron las más bajas en comparación con las cruzas británicas-británicas y británicas-cebuinas.

En el Cuadro XV se presentan las estimaciones de los parámetros genéticos aditivos y de heterosis para la característica días al parto.

Cuadro XV. Estimación de parámetros de cruzamiento para la característica días al parto.

	Días al parto	
	Vacas 2° servicio	Vacas 3 o más años
HH ^a	364(5,10)	345(2,70)
Efectos aditivos ^b		
g ^I _A	-1,37(10,60)	45,26(25,24) [†]
g ^I _N	0,19(17,36)	-46,13(47,30)
g ^I _S	8,79(18,32)	-20,96(47,20)
Heterosis ^c		
h ^I _{AH}	-6,92(5,65)	-17,54(9,92) [†]
h ^I _{NH}	-9,12(11,84)	21,04(30,03)
h ^I _{SH}	-10,92(12,24)	23,95(29,82)

Valores de parámetros expresados en días.

() Entre paréntesis se presenta el desvío estándar.

^aMedia ajustada de días al parto con penalización de 21 días.

^bg^I_A, g^I_N, g^I_S son efectos aditivos individuales de las razas Angus, Nelore y Salers como desvío de Hereford.

^ch^I_{AH}, h^I_{NH}, h^I_{SH} son heterosis individual entre Angus – Hereford, Nelore – Hereford y Salers – Hereford, respectivamente.

Valores de parámetros seguidos por *** ($P < 0,001$), ** ($P < 0,01$), * ($P < 0,05$) o † ($P < 0,10$), son diferentes significativamente a la hipótesis nula.

Para los días al parto, el g^I de AA no fue significativo para ninguna de las dos categorías. Morris et al. (1993) en Nueva Zelanda, reportaron -6,2 días al parto para vacas AA en comparación a vacas HH, y en este mismo sentido, Williams et al. (1991) trabajando con la característica día de parto presentaron valores de g^I_A de -2,5 días. El g^I de NN tampoco presentó diferencias significativas con HH, sin embargo, el valor de g^I para las vacas fue elevado en comparación con los valores reportados para la raza Brahman de -7,24 con relación al AA. La estimación del g^I de SS no fue significativo para ambas categorías, y los valores obtenidos difieren de los reportados por Williams et al. (1991) de -1,7 para Charolais, ya que en este trabajo para las vacas de segundo servicio aumentan en 8 los días al parto, y en vacas adultas reducen 20 días.

El h^I entre AA y HH no fue significativo, a pesar de los mayores valores obtenidos en comparación con los reportados en la bibliografía. Cundiff et al. (1974) para cruzamientos entre razas británicas, encontraron valores no significativos para las

cruzas A/H, Shorthorn/H y Shorthorn/A de -1,5, -3,9 y +0,6 días al parto. A su vez, Williams et al. (1991) y Morris et al. (1993) obtuvieron resultados de días al parto para la craza A/H de -6,2 y -2,5, respectivamente.

El h^1 entre NN y HH para las vacas presentó incrementos en los días al parto, resultado que es diferente a lo reportado por Williams et al. (1991) de -10,3 y -13,0 para cruzas entre Brahman-Angus, y Brahman-Hereford respectivamente. A su vez, Olson et al. (1990) trabajando con las mismas razas obtuvieron valores de -6,4 días al parto.

El h^1 entre SS y HH no fue significativo en ninguna de las dos categorías analizadas. Las estimaciones obtenidas de -10,9 y +23,9 días al parto, son muy diferentes de las reportadas por Williams et al. (1991) para cruzas continentales-británicas de -0,8 y -5,5 días.

Para las condiciones productivas del experimento, los resultados muestran que, para probabilidad de IA las cruzas F1 Abredeen Angus-Hereford, Salers-Hereford y Nelore-Hereford presentaron mejor desempeño que la raza pura Hereford. Mientras para éxito al parto, solamente la craza Nelore-Hereford fue superior a la raza pura Hereford para la categoría de segundo servicio. Los mayores valores de la craza Abredeen Angus-Hereford para probabilidad de IA pueden ser explicados por los valores positivos de los efectos genético aditivo y heterosis obtenidos.

Para las cruzas evaluadas durante el experimento, las vacas cruza F1 N/H fueron las que presentaron los mayores valores de heterosis. Este resultado sigue la misma línea de los diversos trabajos de cruzamientos que afirman que los efectos de heterosis son mayores en cruza que tienen en su composición razas cebuinas (Gaines et al. 1966; Cundiff et al. 1974; Gregory et al. 1978b). Sin embargo, y a pesar del buen desempeño como vaca adulta, el grupo genético N/H fue superado por la craza Aberdeen Angus-Hereford en la categoría de vaquillona, en la cual fue esta craza quien presentó las mayores estimaciones de parámetros genéticos aditivos.

Las precisiones de las estimaciones de los parámetros fueron menores para los efectos genéticos aditivos que para las heterosis. Esto puede deberse al menor número de registros de las vacas de raza pura con respecto a las cruza recíprocas, como se presenta en el Cuadro VI, y que puede haber influido en los importantes errores estándares obtenidos.

Los parámetros genéticos estimados en este trabajo son una importante contribución, que permitirá evaluar la eficiencia de diferentes sistemas de cruzamiento y comparar diferentes combinaciones raciales para condiciones similares a las del experimento. A su vez, los resultados obtenidos en este trabajo bajo un sistema a base de campo natural siguen la misma línea de los trabajos de cruzamiento realizados en el Clay Center de Nebraska (Estados Unidos), la región de Florida (Estados Unidos) y Nueva Zelanda, donde las cruza reproductivamente se desempeñaron mejor que las razas puras.

6. CONCLUSIONES

Las cruzas que presentaron los mayores desempeños reproductivos en comparación a la raza pura Hereford en las condiciones productivas del experimento fueron:

- Vaquillonas cruzas F1 Aberdeen Angus-Hereford, Salers-Hereford y Nelore-Hereford tuvieron mejor desempeño para probabilidad de inseminación artificial.
- Vaquillonas cruzas F1 Aberdeen Angus-Hereford y Salers-Hereford para éxito al parto.
- Vacas cruce F1 Nelore-Hereford para éxito al parto en segundo servicio, y para días al parto como vaca de 3 o más años.

Las estimaciones de efectos genéticos aditivos de las razas Aberdeen Angus, Salers y Nelore no fueron significativos.

Los efectos de heterosis fueron significativos para probabilidad de inseminación artificial en las cruzas F1 Aberdeen Angus-Hereford, Salers-Hereford y Nelore-Hereford, y para éxito al parto en las cruzas F1 Aberdeen Angus-Hereford y Nelore-Hereford.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arthur P. F, Hearnshaw H, Stephenson P. D. (1999). Direct and Maternal Additive and Heterosis Effects from Crossing *Bos Indicus* and *Bos Taurus* Cattle: Cow and Calf Performance in Two Environments. *Livest. Prod. Sci.* 57 (3): 231–41.
2. Azzam S. M, Nielsen M. K. (1987). Genetic Parameters for Gestation Length, Birth Date and First Breeding Date in Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 64 (2): 348–56.
3. Berry D. P, Wall E, Pryce J. E. (2014). Genetics and Genomics of Reproductive Performance in Dairy and Beef Cattle. *Animal* 8 (SUPPL. 1): 105–21.
4. Bourdon R. M, Brinks J. S. (1982). Genetic, Environmental and Phenotypic Relationships among Gestation Length, Birth Weight, Growth Traits and Age at First Calving in Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 55 (3): 543–53.
5. Brandt H, Müllenhoff A, Lambertz C, Erhardt G, Gauly M. (2010). Estimation of Genetic and Crossbreeding Parameters for Prewaning Traits in German Angus and Simmental Beef Cattle and the Reciprocal Crosses. *J. Anim. Sci.* 88 (1): 80–86.
6. Brito G, Correa D, San Julián R. (2017). Tercera Auditoria de Calidad de Carne Vacuna Del Uruguay. INIA Serie Técnica 229.
7. Buddenberg B. J, Brown C. J, Brown A. H. (1990). Heritability Estimates of Calving Date in Hereford Cattle Maintained on Range under Natural Mating. *J. Anim. Sci.* 68 (1): 70–74.
8. Burfening P. J, Kress D. D, Friedrich R. L, Vaniman D. D. (1978). Phenotypic and Genetic Relationships between Calving Ease, Gestation Length, Birth Weight and Prewaning Growth. *J. Anim. Sci.* 47 (3): 595–600.
9. Burris M. J, Blunn C. T. (1952). Some Factors Affecting Gestation Length and Birth Weight of Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 11 (1): 34–41.
10. Cammack K. M, Thomas M. G, Enns R. M. (2009). Reproductive Traits and Their Heritabilities in Beef Cattle. *Prof. Anim. Sci.* 25 (5): 517–28.
11. Cardellino R, Rovira J. (2013). *Mejoramiento Genético Animal*. Editorial Hemisferio Sur 2ª ed. Buenos Aires.
12. Crockett J. R, Koger M, Franke D. E. (1978). Rotational Crossbreeding of Beef Cattle: Prewaning Traits by Generation I Three Successive Generations of Crossbreed. *J. Anim. Sci.* 5: 1170–77.
13. Cundiff L. V, Gregory K. E, Koch R. M. (1974). Effects of Heterosis on Reproduction in Herford, Angus and Shorthorn Cattle. *J. Anim. Sci.* 38 (4): 711–27.

14. Cundiff L. V, Szabo F, Gregory K. E, Koch R. M, Dikeman M. E, Crouse J. D. (1993). Breed Comparisons in the Germplasm Evaluation Program At MARC. 25th Meeting of the Beef Improvement Federation, 26-29, May, Asheville, United States, P-13.
15. Cundiff L. V, Gregory K. E, Koch R. M. (1998). Germplasm Evaluation in Beef Cattle-Cycle IV: Birth and Weaning Traits. *J. Anim. Sci.* 76 (10): 2528–35.
16. Cunningham E. P. (1987). Crossbreeding - The Greek Temple Model. *J. Anim. Breed. Genet.* 104 (1–5): 2–11.
17. Cushman R. A, Allan M. F, Thallman R. M, Cundiff L. V. (2007). Characterization of Biological Types of Cattle (Cycle VII): Influence of Postpartum Interval and Estrous Cycle Length on Fertility. *J. Anim. Sci.* 85 (9): 2156–62.
18. Darwash A. O, Lamming G. E, Woolliams J. A. (1997). Estimation of Genetic Variation in the Interval from Calving to Postpartum Ovulation of Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 80 (6): 1227–34.
19. Dickerson G. (1969). Experimental Approaches in Utilising Breed Resources. *ABA* 37: 191–202.
20. Dickerson G. (1970). Efficiency of Animal Production-Molding the Biological Components. *J. Anim. Sci.* 30 (6): 849–59.
21. Dickerson G. (1973). Inbreeding and Heterosis in Animals. *J. Anim. Sci.* (Symposium): 54–77.
22. DIEA. (2009). Encuesta de Preñez: Ganadería Vacuna de Carne para años 2007 y 2008. DIEA Trabajos Especiales N°289.
23. DIEA. (2019). Anuario Estadístico Agropecuario. Disponible en: <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2019/Anuario2019.pdf>
24. Donoghue K. A, Rekaya R, Bertrand J. K. (2004a). Comparison of Methods for Handling Censored Records in Beef Fertility Data: Simulation Study. *Journal of Animal Science* 82 (2): 351–56.
25. Donoghue K. A, Rekaya R, Bertrand J. K, Misztal I. (2004b). Threshold-Linear Analysis of Measures of Fertility in Artificial Insemination Data and Days to Calving in Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 82 (4): 987–93.
26. Doyle S. P, Golden B. L, Green R. D, Brinks J. S. (2000). Additive Genetic Parameter Estimates for Heifer Pregnancy and Subsequent Reproduction in Angus Females. *J. Anim. Sci.* 78 (8): 2091.

27. Dziuk P. J, Bellows R. A. (1983). Management of Reproduction of Beef Cattle, Sheep and Pigs. *J. Anim. Sci.* 57: 1211–14.
28. Eler J. P, Silva J. A II V, Evans J. L, Ferraz J. B. S, Dias F, Golden B. L. (2004). Additive Genetic Relationships between Heifer Pregnancy and Scrotal Circumference in Nellore Cattle. *J. Anim. Sci.* 82 (9): 2519–27.
29. Espasandin A, Franco J, Oliveira G, Bentancur O, Gimeno D, Pereyra F, Rogberg M. (2006). Impacto Productivo y Economico Del Uso Del Cruzamiento Entre Las Razas Hereford y Angus En El Uruguay. XXXIV Jornadas Uruguayas de Buiatria, 8-10, Junio, Paysandu, Uruguay, P- 10.
30. Evans J. L, Golden B. L, Bourdon R. M, Long K. L. (1999). Additive Genetic Relationships between Heifer Pregnancy and Scrotal Circumference in Hereford Cattle. *J. Anim. Sci.* 77 (10): 2621.
31. Falconer D. S, Mackay T. F. C. (1996). *Introduction to Quantitive Genetics*. Longman 4th ed. Harlow.
32. Franke D. E. (1980). Breed and Heterosis Effects of American Zebu Cattle. *J. Anim. Sci.* 50 (6): 1206–14.
33. Gaines J. A, McClure W. H, Vogt D. W, Carter R. C, Kincaid C. M. (1966). Heterosis from Crosses among British Breeds of Beef Cattle: Fertility and Calf Performance to Weaning. *J. Anim. Sci.* 25 (1): 5–13.
34. Gimeno D, Aguilar I, Franco J, Feed O. (2002). Rasgos Productivos y Reproductivos de Hembras Cruza. *Actualizacion Tecnica En Cruzamientos Bovinos*, 23, Agosto, Tacuarembó, Uruguay, P-11.
35. Gregory K. E, Cundiff L. V, Koch R. M, Laster D. B, Smith G. M. (1978a). Heterosis and Breed Maternal and Transmitted Effects in Beef Cattle I. Prewaning traits. *J. Anim. Sci.* 47: 1031–40.
36. Gregory K. E, Laster D. B, Cundiff L. V, Koch R. M, Smith G. M. (1978b). Heterosis and Breed Maternal and Transmitted Effects in Beef Cattle II. Growth Rate and Puberty in Females. *J. Anim. Sci.* 47: 1042–52.
37. Groen A. F. (1999). Breeding Goal Definition. *ICAR Techn* (3): 365–78.
38. Hill W. G. (1982). Dominance and Epistasis as Components of Heterosis. *Z. Tierz. Züchtungsbiol.* 99 (1–4): 161–68.
39. ICAR. (2018). Section 3: ICAR Guidelines for Beef Cattle Production Recording. *ICAR Guidelines*. Vol. 3.
40. Johnston D. J, Bunter K. M. (1996). Days to Calving in Angus Cattle: Genetic and Environmental Effects, and Covariances with Other Traits. *Livest. Prod. Sci.* 45

- (1): 13–22.
41. Kinghorn B. (1980). The Expression of ‘Recombination Loss’ in Quantitative Traits. *Z. Tierz. Züchtungsbiol.* 97 (1–4): 138–43.
 42. Kinghorn B. P, Vercoe P. E. (1989). The Effects of Using the Wrong Genetic Model to Predict the Merit of Crossbred Genotypes. *Anim. Prod.* 49 (2): 209–16.
 43. Koch R. M. (1972). The Role of Maternal Effects in Animal Breeding: VI. Maternal Effects in Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 35 (6): 1316–23.
 44. Komender P. (1988). Crossbreeding in Farm Animals: III. A General Method of Comparing Models to Estimate Crossbreeding Parameters with an Application to Diallel Crossbreeding Experiments. *J. Anim. Breed. Genet.* 105 (1–6): 362–71.
 45. Komender P, Hoeschele I. (1989). Use of Mixed-Model Methodology to Improve Estimation of Crossbreeding Parameters. *Livest. Prod. Sci.* 21 (2): 101–13.
 46. Laster B. D, Glimp H. A, Cundiff L. V, Gregory K. E. (1973). Factors Affecting Dystocia and the Effects of Dystocia on Subsequent Reproduction in Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 36: 695–705.
 47. Lee D, Misztal I, Bertrand J. K, Rekaya R. (2002). National Evaluation for Calving Ease, Gestation Length and Birth Weight by Linear and Threshold Model Methodologies. *J. Appl. Genet.* 43 (2): 209–16.
 48. Lema O. M, Gimeno D, Dionello N. J. L, Navajas E. A. (2011). Pre-Weaning Performance of Hereford, Angus, Salers and Nellore Crossbred Calves: Individual and Maternal Additive and Non-Additive Effects. *Livest. Sci.* 142 (1–3): 288–97.
 49. Long C. R. (1980). Crossbreeding for Beef Production: Experimental Results. *J. Anim. Sci.* 51 (5): 1197–1223.
 50. Lush J. L. (1927). ‘Percentage of blood’ and mendelish. *J. Hered.* 18 (8): 351–67.
 51. Lynch M, Walsh B. (1998). *Genetics and Analysis of Quantitive Traits*. Oxford University Press. Sunderland.
 52. MacNeil M. D, Newman S, Enns R. M, Stewart-Smith J. (1994). Selection Indices for Canadian Beef Production Using Specialized Sire and Dam Lines. *Can. J. Anim. Sci.* 74 (3): 419–24.
 53. Madalena F. E. (2001). Consideraciones Sobre Modelos Para La Predicción Del Desempeño de Cruzamientos En Bovinos. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 9 (2): 108–17.
 54. Melton B. E. (1995). Conception to Consumption: The Economics of Genetic Improvement. *Proc. Beef Improvement Federation 27th Research Symposium and*

Annual Meeting, 31-3, May-June, Sheridan, United States, P-40.

55. Meyer K, Hammond K, Parnell P. F, MacKinnon M. J, Sivarajasingam S. (1990). Estimates of Heritability and Repeatability for Reproductive Traits in Australian Beef Cattle. *Livest. Prod. Sci.* 25 (1-2): 15-30.
56. MGAP-OPYPA. (2016). Resultados de La Encuesta Ganadera Nacional 2016. Vol. 47.
57. Morris C. A. (1984). Calving Dates and Subsequent Intercalving Intervals in New Zealand Beef Herds. *Anim. Prod.* 39 (1): 51-57.
58. Morris C. A, Baker R. L, Carter A. H, Cullen N. G, Amyes N. C, Hickey S. M. (1993). Evaluation of Two-Breed Composites alongside Angus or Hereford Controls for Growth, Reproduction, Maternal, and Carcass Traits. *New Zeal. J. Agr. Res.* 36 (3): 327-40.
59. Newman S, Morris C. A, Baker R. L, Nicoll G. B. (1992). Genetic Improvement of Beef Cattle in New Zealand: Breeding Objectives. *Livest. Prod. Sci.* 32 (2): 111-30.
60. Nitter G, Graser H. U, Barwick S. A. (1994). Evaluation of Advanced Industry Breeding Schemes for Australian Beef Cattle. I. Method of Evaluation and Analysis for an Example Population Structure. *Aust. J. Agric. Res.* 45 (8): 1641.
61. Olson T. A, Elzo M. A, Koger M, Butts W. T, Adams E. L. (1990). Direct and Maternal Genetic Effects Due to the Introduction of *Bos Taurus* Alleles into Brahman Cattle in Florida: I. Reproduction and Calf Survival. *J. Anim. Sci.* 68 (2): 317-23.
62. Peacock F. M, Koger M, Kirk W. G, Hodges E. M, Warnick A. C. (1971). Reproduction in Brahman, Shorthorn and Crossbred Cows on Different Pasture Programs. *J. Anim. Sci.* 33 (2): 458-65.
63. Peacock F. M, Koger M. (1980). Reproductive Performance of Angus, Brhman, Charolais and Crosbreed dams. *J. Anim. Sci.* 50 (4).
64. Pereyra F, Urioste J, Gimeno D, Peñagaricano F, Bentancur D, Espasandín A. (2015). Parámetros Genéticos En La Etapa de Cría Para El Cruzamiento Entre Hereford y Angus En Campo Natural. *Agrociencia* 19 (1): 140-49.
65. Phocas F, Bloch C, Chapelle P, Bécherel F, Renand G, Ménissier F. (1998). Developing a Breeding Objective for a French Purebred Beef Cattle Selection Programme. *Livest. Prod. Sci.* 57 (1): 49-65.
66. Ponzoni R. W. (1992). Which Trait for Genetic Improvement of Beef Cattle Reproduction: Calving Rate or Calving Day? *J. Anim. Breed. Genet.* 109 (1-6): 119-28.

67. Pravia M. (2010). Desarrollo de objetivos e índices de selección en ganado de carne en Uruguay a través de un modelo bioeconómico. Tesis de Maestría, Facultad de Agronomía, UdelaR, Montevideo.
68. Quintans G. (2010). Alternativas de Manejo Reproductivo Del Rodeo de Cría Vacuno En Uruguay (ABSTRACT). *Agrociencia Uruguay* 14 (3): 59.
69. Quintans G, Banchero G, Carriquiry M, Lopez-Mazz C, Baldi F. (2010). Effect of body condition and suckling restriction with and without presence of the calf on cow and calf performance. *Anim. Prod. Sci.* 50 (10): 931-938.
70. Quintans G, Roig G, Velazco J. I. (2008). Seminario de Actualizacion: Cría Vacuna. Serie Técnica INIA 174.
71. Reverter A, Golden B. L, Bourdon R. M, Brinks J. S. (1994). Method R Variance Components Procedure: Application on the Simple Breeding Value Model. *J. Anim. Sci.* 72 (9): 2247–53.
72. Reynolds W. L, DeRouen T. M, Moin S, Koonce K. L. (1980). Factors Influencing Gestation Length, Birth Weight and Calf Survival of Angus, Zebu and Zebu Cross Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 51 (4): 860–67.
73. Richards M. W, Spitzer J. C, Warner M. B. (1986). Effect of Varying Levels of Postpartum Nutrition and Body Condition at Calving on Subsequent Reproductive Performance in Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 62 (2): 300–306.
74. Rust T, Groeneveld E. (2001). Variance Component Estimation on Female Fertility Traits in Beef Cattle. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 31 (3–4): 131–41.
75. Sagebiel J. A, Krause G. F, Sibbit B, Langford L, Dyer A. J, Lasley J. F. (1973). Effect of Heterosis and Maternal Influence on Gestation Length and Birth Weight in Reciprocal Crosses among Angus, Charolais and Hereford Cattle. *J. Anim. Sci.* 37 (6): 1273–78.
76. Saldanha S. (2005). Manejo Del Pastoreo En Campos Naturales Sobre Suelos Arenosos Medios de Basalto y Suelos Arenosos de Cretácico. INIA Serie Técnica 151: 75–84.
77. SAS Institute Inc. (2014).
78. Schiermiester L. N, Thallman R. M, Kuehn L. A, Kachman S. D, Spangler M. L. (2018). Estimation of Breed-Specific Heterosis Effects for Birth , Weaning , and Yearling Weight in Cattle. *J. Anim. Sci.* 93: 46–52.
79. Short R. E, Bellows R. A, Staigmiller R. B, Berardinelli J. G, Custer E. E. (1990). Physiological Mechanisms Controlling Anestrus and Infertility in Postpartum Beef Cattle. *J. Anim. Sci.* 68 (3): 799.

80. Snelling W. M, Golden B. L, Bourdon R. M. (1995). Within-Herd Genetic Analyses of Stayability of Beef Females. *J. Anim. Sci.* 73 (4): 993–1001.
81. SNIG. (2019). Sistema Nacional de Informacion Ganadera-Indicadores. Disponible en: <https://www.snig.gub.uy/principal/snig-sistema-nacional-de-informacion-ganadera-indicadores>.
82. Soares de Lima J, Montossi F, Lagomarsino X. (2017). Análisis de La Lógica Empresarial Del Engorde de Vacas En Los Sistemas de Cría Bovina Del Uruguay. INIA Serie Técnica 236.
83. Soca P, Carriquiry M, Claramunt M, Ruprecht G, Meikle A. (2014). Metabolic and endocrine profiles of primiparous beef cows grazing native grassland. 2. Effects of body condition score at calving, type of suckling restriction and flushing on plasmatic and productive parameters. *Anim. Prod. Sci.* 54(7): 862-868.
84. Turner J. W, Farthing B. R, Robertson G. L. (1968). Heterosis in reproductive performance of beef cows. *J. Anim. Sci.* 27: 336–38.
85. Urioste J. I, Chang Y. M, Naya H, Gianola D. (2007a). Genetic Variability in Calving Success in Aberdeen Angus Cows under Extensive Recording. *J. Anim. Sci.* 1 (8): 1081–88.
86. Urioste J. I, Misztal I, Bertrand J. K. (2007b). Fertility Traits in Spring-Calving Aberdeen Angus Cattle. 1. Model Development and Genetic Parameters. *J. Anim. Sci.* 85 (11): 2854–60.
87. Urioste J. I, Ponzoni R. W, Aguirrezabala M, Rovere G, Saavedra D. (1998). Breeding Objectives for Pasture-Fed Uruguayan Beef Cattle. *J. Anim. Breed. Genet.* 115 (1–6): 357–73.
88. Vencovsky R, Dias O. J, Ricardo Y. (1970). Um Modelo Genético Aplicado à Análise de Dados de Produção de Leite de Gado Bovino. Relatório Do Depto. de Genética, Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz, Piracicaba, 130–36.
89. Vizcarra J, Ibañez W, Orcasberro R. (1986). Repetibilidad y Reproductibilidad de Dos Escalas Para Estimar La Condición Corporal de Vacas Hereford. *Investigaciones Agronómicas* 7: 45–47.
90. Williams A. R, Franke D. E, Saxton A. M. (1991). Genetic Effects for Reproductive Traits in Beef Cattle and Predicted Performance. *J. Anim. Sci.* 69 (2): 531–42.
91. Wiltbank J. N. (1970). Research Needs in Beef Cattle Reproduction. *J. Anim. Sci.* 31 (4): 755–62.

ANEXO

Article submitted to Journal of Animal Breeding and Genetics (14/08/2020)

Reproductive performance of Angus, Hereford, Salers and Nellore crossbred females: Individual additive and non-additive effects

Reproductive performance of crossbreed females

Guillermo Martinez-Boggio¹, Mario Lema², Ignacio Aguilar¹, Diego Gimeno³, Olga Ravagnolo¹

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

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

³Secretariado Uruguayo de la Lana. Servando Gómez 2408, Montevideo, Uruguay.

ABSTRACT

The reproductive traits in breeding herds can be improved using crosses, through the use of breed differences, heterosis and complementarity. The aim of this study was to estimate additive and heterosis parameters for probability of artificial insemination (AIP), calving success (CS) and days to calving (DC) for Hereford (HH), Angus (AA), Nellore (NN) and Salers (SS) breeds under grazing conditions. The data used comes from an experiment carried out by the Faculty of Agronomy (UdelaR) and Caja Notarial de Seguridad Social from 1992 to 2002 in Uruguay. For this study, 1227 females from 17 different genetic groups with combinations of HH, NN, SS and AA. AIP in heifers, and CS and DC in heifers, second calving and cows 3 years old or more were analysed. Individual additive (g^I) and heterosis (h^I) means and genetic parameters were estimated for each trait. The g^I estimates of AA, NN and SS as difference from HH were not significant. The h^I estimates were significant for A/H crosses for AIP and CS as a heifer, and for N/H crosses as adult cows. The conclusions were that F1 crosses performed better for AIP, CS and DC than purebred HH, and the estimates of additive genetic parameters of different breeds did not show relevant effects, but the estimated heterosis increased AIP in heifers and CS.

Keywords: Additive effects, Beef cattle, Crossbreeding genetic parameters, Non-additive effects, Reproductive performance.

1. INTRODUCTION

Reproduction is recognized as the main constraint on the efficiency of beef cattle production and numerous authors have highlighted the economic relevance of these traits for different production systems (Berry et al., 2014; Dickerson, 1970; Dziuk & Bellows, 1983; Long, 1980). The main income for most breeding systems is commercialization of calves at weaning, making reproduction four times more relevant than the end-product (Melton, 1995).

The low reproductive rates identified in grazing beef systems are due to low pregnancy rates and long intervals between calving and subsequent estrus. Traits such as calving success, days to calving and other interval measures are traits that allow us to explain these low rates. These reproductive indices can be improved by livestock health, herd management, nutrition and genetics. In systems where native pastures are the predominant sources of nutrition, genetic tools such as selection and crossbreeding appear as a suitable alternative. Given the complexity, the late expression in the animal's life and low heritabilities, reproductive traits are difficult to improve through genetic selection (MacNeil et al., 1994).

Therefore, crossbreeding might be an effective tool for improvement of reproductive traits. Crossbreeding allows rapid increases in order of 20 to 70% in production until the system stabilizes (Madalena, 2001). This increment in production in crossbred animals are explained by breed differences, heterosis and complementarity between breeds. Quantification of these effects are necessary to determine the most appropriate breeding system for each environment, and it is achieved through the use of crossbreeding genetics models. Genetic parameters of these models are additive (additive differences) and non-additive (heterosis and epistasis), and their estimation is obtained based on the evaluation of certain genetic groups (Dickerson, 1969).

The beef production system in Uruguay is represented by an extensive grazing system with 70% weaning rate that has been maintained over the last 15 years. The first service of the heifers occurs between 2 and 3 years of age, where an important limitation of the breeding system is nutrition of females during their first and second winter, which defines their future reproductive performance. In addition, major limitation arises with second calving cows since they are still developing during their second service and have additionally requirements due to lactating a calf (Quintans et al., 2007).

For this reason, it is necessary to estimate genetic parameters of the crosses under local production conditions where they will be used in the future. The aim of this study was to estimate additive and heterosis crossbreeding parameters for probability of artificial insemination, calving success and days to calving for Hereford, Aberdeen Angus, Nellore and Salers breeds under temperate grazing conditions.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Experimental design and animal management

Data were recorded in a crossbreeding experiment carried out by the Faculty of Agronomy (UdelaR) between 1992 and 2002 at a commercial farm “Capilla Vieja” owned by Caja Notarial de Seguridad Social, located near to Pandule in the department of Paysandú (Uruguay) at 32°13’ South latitude and 57°21’ West longitude.

Animals were raised on natural pastures (approximate production: 5500 kg dry matter/ha/year), characterised by a very seasonal pattern of production (62% produced in spring-summer), with short peaks of high-quality forage in spring and the highest production volume in summer. There is severe reduction of both quality and quantity of available forage during winter (13.9% of the annual production)(Saldanha, 2005).

2.1.1 Breeds and reproductive management

Four breeds that are representative of different cattle types were included in the crossbreeding experiment: Hereford (HH) and Aberdeen Angus (AA) as representative of British breeds, Salers (SS) as a Continental breed and Nelore (NN) as a Zebu breed.

Heifers and failed cows were artificially inseminated (AI), and cows with suckling calves were served by natural mating (NM). Following the first breeding season, cows were only removed if they remained open during two successive years. The experiment started in 1992 with 500 HH cows which were artificially inseminated with AA, HH, NN and SS bulls, producing purebred progeny and F1 crosses. First purebred and F1 females of the experiment were born in 1993, were inseminated at two years of age, and gave birth to the first backcrosses and F2 females in 1996. From 1997 on, cows with suckling calves were mated with Red Poll (RR) bulls through natural mating, in order to have a different breed from the parental breeds that composed the cow’s genetic group. In 1999 the experimental herd was completed with the birth of the second backcrosses. The experiment ended in 2002, so not all the genetic groups were evaluated every year, nor were they represented by the same number of animals along the experiment. Table 1 shows the distribution of the genetic groups according to the year and service period.

Available records were: (1) routine weighing every 45 days (to check presence of the animals in the herd); (2) date of service period by natural mating and artificial insemination with specific AI date and used bulls; (3) calving date, calving difficulty and body condition score (BCS) at calving; and (4) weaning date. Artificial insemination with heat detected was performed annually from November 20 to January 30, and natural mating between December 2 and February 28. Calving season was consequently concentrated in the months of September and October, with

weaning in April, except for the last two years in which they were on February due to drought.

The initial editing of the information consisted of not including records of females without date of birth, purebred RR or RR crosses, and with unknown sires and/or unidentified genetic group. Services from 1993 generation were eliminated for the 1996-1997 period, due to problems with the registration of the services in that period.

2.1.2 Genetic groups

Data of 1227 animals that belonged to 17 genetic groups (GG) were analysed in this study, GGs corresponded to: purebred animals HH and AA, 15 groups with different genetic composition of HH ($\frac{3}{4}$ H, $\frac{1}{2}$ H and $\frac{1}{4}$ H) for crosses with AA, SS and NN (Table 1). The number of females for each GG is presented in Table 1, they had in average 2.1 and a maximum of five calving per female.

2.1.3 Reproductive traits

It was necessary to divide data by categories for a proper evaluation of the reproductive traits. Heifers are first service females, second calving cows that continue to develop and have a suckling calve, and adult cows with or without suckling calf, but no longer have growth requirements. So, all females in the experiment were categorized for each service period based on records of previous service and calving, and age at the service. The categories were as follows:

- a. Heifer, such as two-year old female in service, which has no previous service record.
- b. Second calving cow, such as three-year-old female that was present at the immediately preceding service and calving.
- c. Three or more years old cow, such as three years or older female that does not follow any of the definitions in (a) and (b). The age range considered was 3 to 7 years of age.

Crossbreeding genetic parameters were estimated for three different reproductive traits:

- i. Artificial insemination probability (AIP), defined only for the heifer category, as the probability that the AI serving female was effectively inseminated. The trait was defined as binomial with an '1' if the female present in the AI service have a record of specific insemination date and a '0' otherwise.
- ii. Calving success (CS), defined as a binomial variable depending on the calving record ('1' calving and '0' failure) for the categories of heifer, second calving cow and cow aged three years or more.

- iii. Days to calving (DC), considered females in natural mating service, with or without registered calving immediately after the corresponding service. The trait was defined as the days between the date of the start of natural mating and subsequent calving. Females without a calving record were penalized by the method proposed by Johnston & Bunter (1996). The last calving date for these females was the last calving date recorded in the group of contemporary cows plus 21 days.

Table 2 shows the number of records for each trait according to the category.

2.2 Statistical analysis

Fixed effects evaluated for the traits were genetic group (GG) with 17 levels, year of service including services between 1995 and 2001, BCS of the cow at previous calving with 6 levels where level 2 was the lower value and 6 the upper value of the scale proposed by Vizcarra et al. (1986), month of previous calving with 2 levels: September and October, and type of service as AI and natural mating (NM).

2.2.1 Genetic group model

The first step of the statistical analysis was estimation of least square means of the GG through models presented in Table 3.

The probability of AI was analysed with a mixed logistic model for binary data [1].

Calving success in heifers and second calving cows were analysed with a mixed logistic model for binary data [2] and [3], and cows of 3 years or more were analysed with a mixed logistic model with repeated measures [4].

The GLIMMIX procedure (SAS, 2003) was used for the implementation and analysis of models [1], [2], [3] and [4], with a binary distribution of the data and the link function Logit.

Days to calving in second calving cows was analysed with a fixed linear model [5] and cows of 3 years or more was analysed with a mixed model with repeated measures [6]. This last model did not include effect of previous parity month given that cows of 3 years or more failed in a high proportion in the previous service. The implementation of the model and analysis was done through the MIXED procedure (SAS, 2003).

A Tukey test through LSMEANS function with the PDIFF option was done to compare estimated means for the different genetic groups for each trait. ILINK sentence was used to transform estimates into values in the response variables for the binary traits (SAS, 2003).

2.2.2 Model for genetic crossbreeding parameters

The model used for the estimation of crossbreeding genetic parameters included the same fixed (GG not included) and random effects from the models [1] to [6], and individual additive (g^I) and heterosis (h^I) effects.

$$y = \text{Fix_Eff} + \text{cow} + \alpha_i^* g_i + \delta_{iH} h_{iH} + e$$

Where y were observations of artificial insemination probability, calving success and days to calving, Fix_Eff represent the same fixed effects included in models [1] to [6] for each trait and category, cow was the random effect of cow ($\text{var}(\text{cow}) \sim N(0, I\sigma_{\text{cow}})$) included in models [4] and [6], g_i additive effect of the breed i -th as difference with HH, h_{iH} effect of heterosis from crosses between breed i -th and HH, e residual random effect ($\text{var}(e_{ij}) = \sigma^2_e$), α_i^* proportion of breed i -th ($i = \text{AA}, \text{NN}, \text{SS}$) in the cow, calculated as $\alpha_i = \frac{1}{2}(\alpha_i^S + \alpha_i^D)$ and expressed as the difference with HH: $\alpha^* = \alpha_i - \alpha_{HH}$, δ_{iH} as the probability that by randomly taking a *locus* from an individual, one allele is from breed i -th ($i = \text{AA}, \text{NN}, \text{SS}$) and the other is from HH. It was calculated as $\delta_{iH} = \alpha_i^S \alpha_{HH}^D + \alpha_{HH}^S \alpha_i^D$, where α_i^S and α_i^D is the contribution of the i -th breed in the individual by the sire and dam, and α_{HH}^S and α_{HH}^D is the contribution of the HH breed in the individual by sire and dam, respectively.

As before, statistical analysis were performed using PROC MIXED for days to calving and PROC GLIMMIX for probability of artificial insemination and calving success, both with the sentence ESTIMATE (SAS, 2003).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Table 4 shows results for fixed effects included in models [1] to [6]. Service year was significant for all analysed traits. Average calving success and days to calving for the period 1997 was 73% and 330 days, while for 1999-2000, 65% and 361 days, and 72% and 354 days, respectively (results not shown). This could be due to the drought in those years, which forced early weaning in February and could have affected reproductive performance in the corresponding service and in the following one.

Given that in extensive grazing systems that characterize Uruguay, annual climatic variability affects the growth of pastures and therefore the feeding of breeding cows, effect of the year is crucial almost always, especially when analysing reproductive performance. Several authors have reported the significance of the year or similar effects as month of service on reproductive traits (Crockett et al., 1978; Cundiff et al., 1974; Donoghue et al., 2004; Johnston & Bunter, 1996; Urioste et al., 2007).

Cow's BCS and month of calving were recorded at the time of calving immediately prior to service, and both were significant for days to calving (Table 4). This is in agreement with the relevance of BCS for monitoring the status of breeding herds found in different studies in Uruguay. Quintans et al. (2010) and Soca et al. (2014) working with British breeds showed that reaching calving with good body condition is the key to increase the number of cows that return to cyclicity in the next service. Therefore these cows have greater chances of being served in the first part of the service, thus shortening the days to calving. Richards et al. (1986) and Short et al. (1990) expressed that factors such as the BCS and calving's month are determinant

for the reestablishment of the cow's cyclicity, affecting the duration of the calving-first heat and calving-pregnancy interval. In addition, Morris (1984) highlighted the relevance of previous calving month, since it increases the interval between births and therefore affects days to calving.

The effect of type of service for three years and older cows included in its definition the effect of the service by AI or NM, as well as the presence or absence of a suckling calf at the time of the service, and different age and genetic group distribution. As presented in Table 4, the effect was significant like that reported by Donoghue et al. (2004). However, means of calving success were higher for cows in natural mating than those cows who were artificially inseminated (results not shown). This was not expected since cows in NM had lactating calves at the service which meant higher energy requirements for the cow. This result could be explained by a higher number of cows NH in natural mating, compared to AI. In addition, in AI service are included GG (such as backcrosses and F2 crosses) which, due to the duration of the experiment, do not appear in natural mating.

3.1 Estimated reproductive performance of genotypes

3.1.1 Artificial insemination probability

F1 crosses were superior to purebred HH ($P<0.001$), for AI probability as presented in Table 5. Considering the estimated means for F1, a higher percentage of A/H and N/H heifer crosses were effectively inseminated, compared to S/H heifer crosses ($P<0.01$). The general 63% of AIP in HH (Table 5) was similar for all years of the experiment, except for 1997 where this trait descended to 49% (result not shown).

From a biological point of view, the trait measures the female's ability to achieve her first service as a heifer at two years of age. This implies that the heifer must develop adequately to reach puberty, mainly in winter, since for the grazing conditions of Uruguay, the rate of winter weight gain represents the most important factor in determining the percentage of animals that reach puberty (Quintans et al., 2007). And subsequently for heifers to be cycling at the time of the service season in order to be artificially inseminated.

There are no major reports in the literature of this trait measured in crosses, but there are some for age at puberty which is related. Gregory et al. (1978) working with British-British and British-Continental crosses found that crosses with AA and RR reached puberty earlier than crosses with HH, and Laster et al. (1973) reported that H/A crosses had 19.5 days lower average age at puberty than the average of the parental breeds. Regarding Zebu crosses, Cundiff et al. (1993) reported that NN breed reaches puberty at 412 days of age, and therefore their crosses will reach puberty later than British breeds. A study carried out by Quintans et al. (2007) in Uruguay, where the age at puberty and nutritional conditions were not the same that in systems as in United States, the purebred HH heifers reached puberty at 482 days and AH at 480 days, while 67% of HH and 55% of AH reached puberty at the end of the study that covered until 16 months of age.

3.1.2 Calving success

Calving success results for purebred HH, British-British and British-Continental crosses were similar and represented the better values in the experiment. British-Zebu crosses F1 and F2 showed differences of -9% and -33% of calving success in their first AI (Table 5) with respect to the 79% success of the HH breed. However, as second calving cows, the N/H showed 23% higher calving success than HH ($P<0.01$) and presented differences with the other F1 cows ($P<0.1$). In mature cows, again calving success was higher for the first British-Zebu crosses, showing significant differences with S/H ($P<0.01$) and A/H ($P<0.001$), but not with HH.

In heifers, the results are in agreement with those of calving rate presented by Cundiff et al. (1974) and Williams et al. (1991), where there was no significant differences found between crosses and purebred HH. Furthermore, results obtained in this experiment follow results reported by Cundiff et al. (1993), where *Bos Indicus* heifers and their crosses take longer to reach puberty than *Bos Taurus*, and therefore the rate of conception at early ages is lower. Despite that, British-Zebu crosses improve their reproductive performance as a mature cow (Table 5).

For cows with three or more years of age, Turner et al. (1968) reported results where Brahman-Hereford crosses presented 18.8% higher calving rate than both purebreds ($P<0.01$), and with higher values than those found in this experiment of 84.7%. Crockett et al. (1978) reported a significant pregnancy rate with values of 8.5% and 4.4% higher for crosses with Zebu sires (Brahman) and British dams (Angus and Hereford). Turner et al. (1968) and Cundiff et al. (1974) presented values of 68.2% and 78% for calving rate in A/H cows, which were similar to those presented in Table 5. The differences in means may be due to the different nutritional levels handled in the experiments developed in the United States. Table 5 presents means for all the genetic groups, however for groups with a low number of females in service, estimated means with are not consistent, and do not represent a realistic performance of these groups.

In general, British-British crosses showed the best performance as heifers, since F1 crosses obtained an average higher than 90% in AIP, as well as higher values of calving success in their first service. Despite the fact that N/H crosses presented low probability values of AI as a heifer, they improved their reproductive performance, and presented higher values as a mature cow under the grazing conditions of the experiment.

3.1.3 Days to calving

Second calving F1 cows showed no significant differences with purebred HH, backcrosses and F2 crosses for days to calving. In adult cows of 3 or more years of age, British-Zebu (N/H) crosses were significantly different to HH and S/H ($P<0.001$) and A/H ($P<0.05$). British-British and British-Continental crosses were not statistically different from the purebred HH.

Results are difficult to compare with other authors, as there are few estimates of days to calving for British crosses. Experiments in Florida, United States, used Brahman cattle since they were well adapted to the subtropical conditions of the region, showed higher values for age of calf at weaning (measured individually as the days between service and weaning) and date of birth of the calf for British-Brahman crosses (Olson et al., 1990; Williams et al., 1991).

In our study, adult HH cows had an average of 345 days to calving, which is in accordance with what was reported by Cundiff et al. (1974). These authors measured the calving day within an 84-day calving season and obtained that HH cows were the last to calve when they were mated to AA and Shorthorn bulls. The same authors reported that when British breeds (AA) were used as sires, the gestation period was reduced, while it was increased when Zebu breeds such as NN were used (Cundiff et al., 1998; Lema et al., 2011).

Means for all genetic groups are presented in Table 6. Estimated means of days to calving for backcrosses and F2 crosses included less than 10 females and were considered non representative. For this reason, these results are not discussed or compared with other estimates.

The relevance of days to calving in beef cattle production, is that animals who conceive earlier during the service period will give birth in the first part of the calving season and may generate older and more developed calves at weaning (Azzam & Nielsen, 1987; Bourdon & Brinks, 1982) and might also be in a better shape for the following breeding season (Short et al., 1990). According to the results obtained, the British-Zebu cows showed better values of days to calving for adult cows. If we also consider results for calving success, F1 crosses composed by Zebu breed were the most successful as cows of three or more years old.

3.2 Estimation of crossbreeding genetic parameters

The estimates of crossbreeding genetic parameters are presented in Table 7 and are expressed in the liability scale of values. This value needs to be transformed by an inverse logarithmic function in order to have them expressed in probability of AI and calving success.

Positive values presented in Table 7 correspond to an improvement in the performance of the trait, while the negative values correspond to a decrease of the performance, in comparison to HH.

Additive genetic effect of AA in relation to HH for artificial insemination probability was significant ($P < 0.01$), although the genetic effects of NN and SS were not significant. Heterosis effects were positive and significant for A/H, N/H and S/H (Table 6). These results follow the same trend as the means of AIP presented in Table 5, where all F1 crosses were superior to HH, and AA and A/H heifers showed better values than HH. Estimated crossbreeding parameters could explain the better

performance of the crosses with AA, because the g^I_A and h^I_{AH} showed positive values for the trait.

Additive genetic effects of AA, NN and SS in relation to HH for calving success were not significant ($P>0.05$) for any of the categories analysed. These results are in agreement with Peacock & Koger (1980) which working with British, Zebu and Continental breeds presented non-significant g^I values of +1.5% in AA, -0.1% in Brahman (B) and -1.4% in Charolais (C) for calving rate. Meanwhile, Olson et al. (1990) reported significant g^I values in Brahman compared to Angus of +6%.

The h^I between AA and HH was significant in heifers and cows of three or more years of age. This result coincides with Turner et al. (1968) and Cundiff et al. (1974) who obtained positive heterosis values for British-British crosses, and significant estimates for F1 (A/H), compared to the parental mean for calf crop percent and percentage of calves born respectively. Similarly, Williams et al. (1991) for calving rate in crosses of British, Zebu and Continental breeds obtained a value of +7.6% for h^I_{AH} , in this case, expressed as a deviation from the mean of the trait of the experiment.

The h^I between NN and HH was significant only for cows of three years or more in agreement with those reported by Franke (1980), Peacock & Koger (1980), Olson et al. (1990) and Williams et al. (1991) for calving rate, and pregnancy status measured as a binomial variable using calving records only. Heterosis values reported for Zebu-British crosses are higher than those of British-British and British-Continental crosses. For F1 Angus-Brahman and Brahman-Hereford crosses the estimates of h^I were +12.1% and +20.5% as deviation from the mean of calving rate in the experiment (Williams et al., 1991). In these results, as in this experiment, and despite not being comparable in magnitude, N/H cows were the crosses that presented the highest values of heterosis for the second calving and 3 or more years of age.

The h^I between SS and HH was not significant. This result is consistent with Peacock & Koger (1980) and Williams et al. (1991) who, with British-Continental crosses such as Angus/Charolais and Charolais/Hereford, obtained non-significant estimates of heterosis same as for the British-British cross. The only crosses that showed individual heterosis were crosses with Continental breeds, which presented a negative heterosis. In general, heterosis estimates could explain results that were presented in Table 5. The NH cows of 3 or more years of age expressed better values for calving success than the others F1, and this result is due to the positive and significant effects of the h^I_{NH} which counteracts the value of the g^I_N .

For days to calving, the AA g^I was not significant for either category. Morris et al. (1993) in New Zealand reported -6.2 days at calving for AA cows compared to HH cows, and in the same way, Williams et al. (1991) working with calf birth day (as calving date) presented g^I_A values of -2.5 days. The g^I of NN did not present significant differences with HH either, however, the g^I value for cows was higher than the value of -7.2 as deviation from AA reported for Brahman breed. The estimation

of the g^I of SS was not significant, and values obtained for both categories differed from those reported by Williams et al. (1991) of -1.7 for Charolais where days to calving increased in 8 days in second calving cows and reduced 20 days in mature cows.

The h^I between AA and HH was not significant, even though values were higher than those reported by others authors. Cundiff et al. (1974), found non-significant values for crosses A/H, Shorthorn/H and Shorthorn/A of -1.5, -3.9 and +0.6 days at calving for crosses between British breeds. While Williams et al. (1991) and Morris et al. (1993) obtained results in the same direction for the A/H cross with day of calving values of -6.2 and -2.5, respectively.

The h^I between NN and HH for cows showed increases in days to calving (+21.0 days), which were different from those already reported in the literature of -10.3 and -13.0 for Brahman-Angus, and Brahman-Hereford crosses, respectively (Williams et al., 1991). Likewise, Olson et al. (1990) obtained values of -6.4 days to calving with the same breeds.

The h^I between SS and HH was not significant in either of the two categories analysed. Estimates of -10.9 and +23.9 days to calving were very different from those reported by Williams et al. (1991) for Continental-British crosses of -0.8 and -5.5 days.

N/H cows were showed the best means for days to calving in comparison with HH, since as cows of 3 or more years, calved 14 days earlier. g^I_N value (-46.13 days) showed in Table 6, compensates the positive values of h^I_{NH} (+21.04 days), and finally the difference with HH through estimated parameters is that N/H cows calving 25 days earlier than HH cows.

Regarding the accuracy of the estimates, the high standard errors of additive and heterosis parameters could be explained for the lack of records of purebred cows and reciprocal crosses. It is likely that more animals and breed groups would have obtained greater precision in the estimates and more parameters would have had a significant effect.

Of the evaluated crosses during this experiment, F1 N/H cows showed the highest values of heterosis. This result is in concordance with most crossbreeding experiments, where effects of heterosis were greater in crosses that have in their composition Zebu breeds (Cundiff et al., 1974; Gaines et al., 1966; Gregory et al., 1978). However, and despite the good performance as a mature cow, the genetic group N/H was surpassed by the British-British crosses heifers, who presented the highest estimates of additive genetic parameters.

4. CONCLUSION

Females of different breed combinations resulting from crosses between British-British, British-Continental and British-Zebu breeds performed better for artificial insemination probability, calving success and days to calving than purebred Hereford under the productive conditions of the experiment.

The British-British crosses achieved a higher proportion of heifers in their first artificial insemination at two years of age and had the highest calving success rates. On the other hand, as adult cows with more than one calving, British-Zebu crosses were the ones with the highest averages for calving success and days to calving.

The estimates of additive genetic parameters of British, Continental and Zebu breeds did not show relevant effects, but the estimated heterosis increased the probability percentages of artificial insemination in heifers and calving success.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank to Caja Notarial de Seguridad Social for financial support and Facultad de Agronomía (Universidad de la República, Uruguay) for providing the data for this study.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

REFERENCES

- Azzam, S. M., & Nielsen, M. K. (1987). Genetic Parameters for Gestation Length, Birth Date and First Breeding Date in Beef Cattle. *Journal of Animal Science*, 64(2), 348–356. <https://doi.org/10.2527/jas1987.642348x>
- Berry, D. P., Wall, E., & Pryce, J. E. (2014). Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle. *Animal*, 8(SUPPL. 1), 105–121. <https://doi.org/10.1017/S1751731114000743>
- Bourdon, R. M., & Brinks, J. S. (1982). Genetic, Environmental and Phenotypic Relationships among Gestation Length, Birth Weight, Growth Traits and Age at First Calving in Beef Cattle. *Journal of Animal Science*, 55(3), 543–553. <https://doi.org/10.2527/jas1982.553543x>
- Crockett, J. R., Koger, M., & Franke, D. E. (1978). Rotational Crossbreeding of Beef Cattle: Prewaning traits by generation. Three successive generations of crossbreed. *Journal of Animal Science*, (5), 1170–1177.
- Cundiff, L. V., Szabo, F., Gregory, K. E., Koch, R. M., Dikeman, M. E., & Crouse, J. D. (1993). Breed Comparisons in the Germplasm Evaluation Program At Marc. *Meeting of Beef Improvement Federation*, 17. <https://doi.org/10.1002/jcph.788>.This
- Cundiff, L. V., Gregory, K. E., & Koch, R. M. (1974). Effects of heterosis on reproduction in Herford, Angus and Shorthorn cattle. *Journal of Animal Science*, 38(4), 711–727. <https://doi.org/10.2527/jas1974.384711x>
- Cundiff, Larry V., Gregory, K. E., & Koch, R. M. (1998). Germplasm Evaluation in Beef Cattle-Cycle IV: Birth and Weaning Traits. *Journal of Animal Science*, 76(10), 2528–2535. <https://doi.org/10.2527/1998.76102528x>
- Dickerson, G. (1969). Experimental Approaches in utilising breed resources. *Animal Breeding Abstract*, 37, 191–202.
- Dickerson, G. (1970). Efficiency of Animal Production—Molding the Biological Components. *Journal of Animal Science*, 30(6), 849–859. <https://doi.org/10.2527/jas1970.306849x>
- Donoghue, K. A., Rekaya, R., & Bertrand, J. K. (2004). Comparison of methods for handling censored records in beef fertility data: Simulation study1. *Journal of*

- Animal Science*, 82(2), 351–356. <https://doi.org/10.2527/2004.822351x>
- Dziuk, P. & Bellows, R. (1983). Management of Reproduction of Beef Cattle, Sheep and Pigs. *Journal of Animal Science*, 57, 1211–1214.
- Franke, D. E. (1980). Breed and heterosis effects of American Zebu cattle. *Journal of Animal Science*, 50(6), 1206–1214. <https://doi.org/10.2527/jas1980.5061206x>
- Gaines, J. A., McClure, W. H., Vogt, D. W., Carter, R. C., & Kincaid, C. M. (1966). Heterosis from Crosses among British Breeds of Beef Cattle: Fertility and Calf Performance to Weaning. *Journal of Animal Science*, 25(1), 5–13. <https://doi.org/10.2527/jas1966.2515>
- Gregory, K. E., Cundiff, L. V., Koch, R. M., Laster, D. B., & Smith, G. M. (1978). Heterosis and Breed Maternal and Transmitted Effects in Beef Cattle I. Prewaning Traits. *Journal of Animal Science*, 47, 1031–1040.
- Gregory, K. E., Laster, D. B., Cundiff, L. V., Koch, R. M., & Smith, G. M. (1978). Heterosis and Breed Maternal and Transmitted Effects in Beef Cattle II. Growth Rate and Puberty in Females. *Journal of Animal Science*, 47, 1042–1052.
- Johnston, D. J., & Bunter, K. L. (1996). Days to calving in Angus cattle: Genetic and environmental effects, and covariances with other traits. *Livestock Production Science*, 45(1), 13–22. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(95\)00088-7](https://doi.org/10.1016/0301-6226(95)00088-7)
- Laster, B.D., Glimp, H.A., Cundiff, L.V., Gregory, K. E. (1973). Factors affecting dystocia and the effects of dystocia on subsequent reproduction in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 36, 695–705.
- Lema, O. M., Gimeno, D., Dionello, N. J. L., & Navajas, E. A. (2011). Pre-weaning performance of Hereford, Angus, Salers and Nellore crossbred calves: Individual and maternal additive and non-additive effects. *Livestock Science*, 142(1–3), 288–297. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.08.007>
- Long, C. R. (1980). Crossbreeding for Beef Production: Experimental Results. *Journal of Animal Science*, 51(5), 1197–1223. <https://doi.org/10.2527/jas1980.5151197x>
- MacNeil, M. D., Newman, S., Enns, R. ., & Stewart-Smith, J. (1994). Selection indices for Canadian beef production using specialized sire and dam lines. *Canadian Journal of Animal Science*, 74(3), 419–424. <https://doi.org/10.4141/cjas94-060>
- Madalena, F. E. (2001). Consideraciones sobre modelos para la predicción del desempeño de cruzamientos en bovinos. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.*, 9(2), 108–117.
- Melton, B. E. (1995). Conception to Consumption: The Economics of Genetic Improvement. *Proc. Beef Improvement Federation 27th Research Symposium and Annual Meeting, Sheridan, Wyoming.*, 40–47.
- Morris, C. A. (1984). Calving dates and subsequent intercalving intervals in New Zealand beef herds. *Animal Production*, 39(1), 51–57. <https://doi.org/10.1017/S0003356100027604>
- Morris, C. A., Baker, R. L., Carter, A. H., Cullen, N. G., Amyes, N. C., & Hickey, S. M. (1993). Evaluation of two-breed composites alongside Angus or Hereford controls for growth, reproduction, maternal, and carcass traits. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 36(3), 327–340. <https://doi.org/10.1080/00288233.1993.10417730>
- Olson, T. A., Elzo, M. A., Koger, M., Butts, W. T., & Adams, E. L. (1990). Direct and maternal genetic effects due to the introduction of *Bos taurus* alleles into Brahman cattle in Florida: I. Reproduction and calf survival. *Journal of Animal Science*, 68(2), 317–323. <https://doi.org/10.2527/1990.682317x>
- Peacock, F. M., & Koger, M. (1980). Reproductive performance of Angus, Brahman, Charolais and crossbred dams. *Journal of Animal Science*, 50(4), 689–693.

- Quintans, G., Banchero, G., Carriquiry, M., Lpez-Mazz, C., & Baldi, F. (2010). Effect of body condition and suckling restriction with and without presence of the calf on cow and calf performance. *Animal Production Science*, *50*(10), 931–938. <https://doi.org/10.1071/AN10021>
- Quintans, G., Barreto, S., Negrín, D., & Ayala, W. (2007). Efecto de la tasa de ganancia invernal en el inicio de la pubertad de terneras de biotipos carniceros en pastoreo. *XXI Reunión Latinoamericana de Producción Animal (ALPA)*, 1–4.
- Richards, M. W., Spitzer, J. C., & Warner, M. B. (1986). Effect of Varying Levels of Postpartum Nutrition and Body Condition at Calving on Subsequent Reproductive Performance in Beef Cattle. *Journal of Animal Science*, *62*(2), 300–306. <https://doi.org/10.2527/jas1986.622300x>
- Saldanha, S. (2005). Manejo del pastoreo en campos naturales sobre suelos arenosos medios de basalto y suelos arenosos de cretácico. *INIA Serie Técnica*, *151*, 75–84.
- SAS Institute Inc., Cary. Cary, NC, U. (2003). *SAS Institute Inc., 2003. SAS/STAT User's Guide, Release 6.11 Edition*.
- Short, R. E., Bellows, R. A., Staigmiller, R. B., Berardinelli, J. G., & Custer, E. E. (1990). Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *Journal of Animal Science*, *68*, 799–816. <https://doi.org/10.2527/1990.683799x>
- Soca, P., Carriquiry, M., Claramunt, M., Ruprechter, G., & Meikle, A. (2014). Metabolic and endocrine profiles of primiparous beef cows grazing native grassland. Effects of body condition score at calving, type of suckling restriction and flushing on plasmatic and productive parameters. *Animal Production Science*, *54*(7), 862–868. <https://doi.org/10.1071/AN13251>
- Turner, J. W., Farthing, B. R., & Robertson, G. L. (1968). Heterosis in Reproductive Performance of Beef Cows. *Journal of Animal Science*, *27*, 336–338.
- Urioste, J. I., Misztal, I., & Bertrand, J. K. (2007). Fertility traits in spring-calving Aberdeen Angus cattle. Model development and genetic parameters. *Journal of Animal Science*, *85*(11), 2854–2860. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-549>
- Vizcarra, J., Ibañez, W., & Orcasberro, R. (1986). Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar la condición corporal de vacas Hereford. *Investigaciones Agronómicas*, *7*, 45–47.
- Williams, A. R., Franke, D. E., & Saxton, A. M. (1991). Genetic effects for reproductive traits in beef cattle and predicted performance. *Journal of Animal Science*, *69*(2), 531–542. <https://doi.org/10.2527/1991.692531x>

TABLE 1. Number of females present in the service period according to genetic groups and total of records.

Genetic groups ^a	Service period ^b						Total records
	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	
HH	14	56	138	161	174	205	748
AA				6	14	26	46
S/H	30	69	161	186	213	246	905
A/H	35	27	128	147	168	205	710
N/H	38	41	108	132	136	171	626
H/SH				6	17	30	53
SH/H					10	10	20
H/AH				6	10	20	36
H/NH				7	10	17	34
NH/H					6	5	11
A/AH				5	6	19	30
AH/A					9	9	18
S/SH				3	7	19	29
N/NH				1	7	13	21
SH/SH					2	9	11
AH/AH					3	16	19
NH/NH					3	12	15
Total records	117	193	535	660	795	1032	3332

HH=Hereford, AA=Angus, NN=Nellore, SS=Salers.

^a Sire and dam breed group at the left and right of the slash, respectively.

^b Year of beginning and end of service at the left and right of the hyphen, respectively.

TABLE 2. Number of total records for artificial insemination probability, calving success and days to calving.

	AI probability	Calving success	Days to calving
Heifers	1227	958	
Second calving cows		458	458
Three or more years old cows		1647	883
Total	1227	3063	1341

AI probability= Artificial insemination probability.

TABLE 3. Models used for artificial insemination probability, calving success and days to calving.

Trait	Model number	Category	Fixed and random effects					
			GG	YB	TS	BCS	PP	Cow
AIP	[1]	Heifers	♦	♦				
	[2]	Heifers	♦	♦				
Calving Success	[3]	Second calving cows	♦	♦				
	[4]	Cows 3 or more years	♦	♦	♦			♦
Days to calving	[5]	Second calving cows	♦	♦		♦	♦	
	[6]	Cows 3 or more years	♦	♦		♦		♦

AIP= Artificial insemination probability.

GG= Genetic group, YB= Year of service, TS= Type of service, BCS= Body condition score at the previous parity, PP= Month of previous parity, Cow= random effect of cow ($\text{var}(\text{cow}) \sim N(0, I\sigma_{\text{cow}})$).

TABLE 4. Degrees of freedom, F values, and significance levels of least squares analysis for the artificial insemination probability, calving success and days to calving.

Fixed effect	AIP		Calving success				Days to calving					
	Heifers		Heifers		Second calving cows		Cows 3 or more years		Second calving cows		Cows 3 or more years	
Type of service							1	11.25***				
Month of previous calving									1	5.03*		
BCS									5	2.30*	5	4.44***
Year	5	5.24***	5	5.29***	3	14.56***	3	6.03***	3	32.22***	3	9.25***
Genetic group	16	4.88***	16	1.95*	16	0.82	16	1.43	16	1.12	11	4.42***

For each trait and category, is present the degrees of freedom follow by F values.

AIP= Artificial insemination probability.

Year= service year, BCS= Body condition score of the cow in the previous calving.

F values follow by *** ($P < 0.001$), ** ($P < 0.01$), * ($P < 0.05$), are significative different than the null hypothesis.

TABLE 5. Probability of artificial insemination and calving success in heifers, second calving and cows of three or more years, with the number of females in service.

Genetic Group ^a	AIP				Calving success			
	Heifers		Heifers		Second calving cows		Cows 3 or more years	
HH	258	0.63(0.03)	159	0.79(0.03)	88	0.36(0.05)	402	0.73(0.02)
AA	29	0.90(0.07)*	27	0.54(0.10)**	6	0.27(0.18)	11	0.66(0.14)
<i>F1 crosses</i>								
S/H	290	0.77(0.03)***	219	0.82(0.03)	122	0.43(0.05)	493	0.68(0.02)
A/H	256	0.90(0.02)***	229	0.79(0.03)	112	0.45(0.05)	342	0.70(0.03)
N/H	208	0.87(0.02)***	178	0.70(0.03)*	80	0.59(0.06)**	338	0.78(0.02)
<i>Backcrosses</i>								
H/SH	33	0.56(0.09)	22	0.85(0.07)	7	0.41(0.19)	13	0.43(0.14)*
SH/H	10	0.66(0.16)	7	0.62(0.18)	4	0.54(0.29)	6	0.69(0.19)
H/AH	21	0.93(0.07)	20	0.86(0.07)	9	0.72(0.16)†	6	0.66(0.19)
H/NH	18	0.77(0.11)	15	0.80(0.10)	6	0.27(0.18)	10	0.23(0.14)**
NH/H	6	0.45(0.21)	3	0.38(0.29)	1	0.00	4	0.75(0.22)
A/AH	19	0.91(0.08)†	18	0.67(0.11)	5	0.42(0.23)	6	1.00(0.00)
AH/A	9	1.00(0.00)	9	0.60(0.17)	5	0.61(0.27)	4	1.00(0.00)
S/SH	19	0.62(0.13)	14	0.86(0.08)	5	0.28(0.19)	5	0.82(0.17)
N/NH	13	0.51(0.15)	8	0.82(0.12)	5	0.37(0.22)	3	0.36(0.29)
<i>F2 crosses</i>								
SH/SH	9	0.66(0.18)	7	0.72(0.16)	1	1.00(0.01)	1	0.00
AH/AH	16	0.70(0.14)	13	0.54(0.15)*	1	0.00	2	1.00(0.00)
NH/NH	13	0.65(0.15)	10	0.46(0.17)*	1	1.00(0.01)	1	0.00

For each trait and category, is present the number of females in service follow by least square means with standard deviation.

() Standard deviation between brackets.

HH=Hereford, AA=Angus, NN=Nellore, SS=Salers.

AIP=Artificial insemination probability.

^a Sire and dam breed group at the left and right of the slash, respectively.

Means in the same column (the same trait) followed by *** ($P<0.001$), ** ($P<0.01$), * ($P<0.05$) or † ($P<0.10$) was significantly different from HH breed.

TABLE 6. Days to calving for second calving cows and cows of three or more years, with the number of females in service.

Genetic group ^a	Days to calving			
		Second calving cows		Cows 3 or more years
HH	88	364(5.1)	203	345(2.7)
AA	6	371(11.9)	2	371(21.2)
<i>F1 crosses</i>				
S/H	122	362(4.9)	265	347(2.5)
A/H	112	361(5.0)	183	340(2.8)
N/H	80	358(4.8)	219	331(2.6) ^{***}
<i>Backcrosses</i>				
H/SH	7	372(11.2)	2	363(21.1)
SH/H	4	340(14.3) [†]		
H/AH	9	350(10.1)	3	324(17.3)
H/NH	6	373(11.6)	1	399(29.7) [†]
NH/H	1	412(27.3) [†]	1	290(29.8) [†]
A/AH	5	365(12.9)	2	342(21.1)
AH/A	5	359(13.0)		
S/SH	5	372(12.8)	1	328(29.7)
N/NH	5	366(13.0)	1	301(29.8)
<i>F2 crosses</i>				
SH/SH	1	355(27.2)		
AH/AH	1	412(27.3) [†]		
NH/NH	1	341(27.3)		

For each category, is present the number of females in service follow by least square means with standard deviation.

() Standard deviation between brackets.

HH=Hereford, AA=Angus, NN=Nellore, SS=Salers.

^a Sire and dam breed group at the left and right of the slash, respectively.

Means in the same column (the same trait) follow by ^{***} ($P<0.001$), ^{**} ($P<0.01$), ^{*} ($P<0.05$) or [†] ($P<0.10$) are significantly different of HH breed.

TABLE 7. Estimates of crossbreeding genetic parameters for probability of artificial insemination and calving success (liability scale), and days to calving.

	AIP		Calving success		Days to calving	
	Heifers	Heifers	Second calving cows	Cows 3 or more years	Second calving cows	Cows 3 or more years
HH ^a	0.35(0.43)	1.04(0.46)	-1.06(0.67)	0.42(0.08)	364(5.10)	345(2.70)
Additive effect ^b						
g ^l _A	2.27(0.67)**	0.07(0.37)	-0.74(0.73)	-0.13(0.27)	-1.37(10.60)	45.26(25.24) [†]
g ^l _N	-1.30(1.08)	0.95(1.26)	-1.62(1.70)	-1.27(0.78)	0.19(17.36)	-46.13(47.30)
g ^l _S	-0.04(1.04)	1.79(1.20)	-1.34(1.84)	-0.07(0.73)	8.79(18.32)	-20.96(47.20)
Heterosis ^c						
h ^l _{AH}	0.82(0.41)**	0.59(0.27)**	0.52(0.45)	0.51(0.16)**	-6.92(5.65)	-17.54(9.92) [†]
h ^l _{NH}	2.23(0.62)***	-0.32(0.68)	1.41(0.93)	1.24(0.41)**	-9.12(11.84)	21.04(30.03)
h ^l _{SH}	0.96(0.56) [†]	-0.04(0.65)	0.66(0.97)	0.39(0.38)	-10.92(12.24)	23.95(29.82)

Values of AIP and calving success parameters expressed in the liability scale with normal distribution, and values of days to calving parameters expressed in days.

() Standard deviation between brackets.

AIP=Artificial insemination probability.

^aAdjusted means for artificial insemination probability, calving success and days to calving.

^bg^l_A, g^l_N, g^l_S are the individual additive effects of Angus, Nellore, and Salers as deviation from Hereford.

^ch^l_{AH}, h^l_{NH}, h^l_{SH} are individual heterosis between Angus – Hereford, Nellore – Hereford and Salers – Hereford, respectively.

Parameters values follows by *** ($P < 0.001$), ** ($P < 0.01$), * ($P < 0.05$), are significantly different of the null hypothesis.