

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
Facultad de Agronomía

**FACTORES GENÉTICOS Y AMBIENTALES QUE  
AFECTAN LOS PRINCIPALES INDICADORES  
REPRODUCTIVOS EN CERDOS EN UN  
SISTEMA AL AIRE LIBRE**

por

**Washington BELL CARABALLO**

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

Montevideo  
Uruguay  
Agosto de 2013

Tesis aprobada por el tribunal integrado por la Dra. Sara Williams (vocal), el Ing. Agr. (Ph. D.) Oscar Blumetto (vocal), el Ing. Agr. (Ph. D.) Raúl Ponzoni (vocal) y la Ing. Agr. (Ph. D.) Ana Espasandín (presidenta) el 30 de agosto de 2013. Autor: Ing. Agr. Washington Bell. Directora: Prof. Dra. V. (Ph. D.) Raquel Pérez Clariget, co-tutor: Prof. Ing. Agr. (Ph. D.) Jorge Urioste.

## **AGRADECIMIENTOS**

Por el apoyo y la enorme paciencia durante mi tránsito por la maestría y la realización de este trabajo, a Raquel Pérez Clariget, a Jorge Urioste y a Nelson Barlocco. Al Pancho Peñagaricano por la gigantesca mano para abordar el trabajo con el R y ayudarme a interpretar todas y cada una de las salidas, un fenómeno.

# TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	V
SUMMARY.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
1.1 FACTORES GENÉTICOS.....	1
1.2 FACTORES FISIOLÓGICOS.....	3
1.3 FACTORES AMBIENTALES.....	4
1.4 LA PRODUCCIÓN AL AIRE LIBRE Y EL CERDO PAMPA ROCHA.....	8
1.5 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	10
1.5.1 <u>Hipótesis</u> .....	10
1.5.2 <u>Objetivos</u> .....	11
1.6 ESTRUCTURA DEL PRESENTE TRABAJO DE TESIS.....	11
2. <u>GENETIC AND ENVIRONMENTAL FACTORS AFFECTING REPRODUCTIVE TRAITS IN SOWS IN AN OUTDOOR PRODUCTION SYSTEM</u> .....	12
1. Introduction.....	15
2. Material and Methods.....	18
2.1. <i>Location and management</i> .....	18
2.2. <i>Data structure</i> .....	19
2.3. <i>Statistical analysis</i> .....	20
3. Results.....	22
3.1. <i>Descriptive statistics</i> .....	22
3.2. <i>Genetic effects</i> .....	23
3.3. <i>Environmental effects</i> .....	25
4. Discussion.....	27
4.1. <i>Genetic effects</i> .....	28
4.2. <i>Environmental effects</i> .....	30
5. Conclusion.....	35
6. References.....	36
3. <u>DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES</u> .....	45
4. <u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	49

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue caracterizar los factores genéticos y ambientales que afectan la reproducción en cerdos en un sistema al aire libre. Se utilizaron datos de la Unidad de Producción de Cerdos, de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República de Uruguay. El rodeo incluyó los genotipos Pampa Rocha (P), Duroc (D), e híbridas (H: PxD y DxP). La base contenía registros de 1309 camadas y 197 cerdas (136 P, 22 D y 39 H) colectados de 1997 a 2011. El sistema de alimentación está fuertemente basado en el pastoreo, restringiendo el uso de concentrado en el rodeo reproductor. Las variables analizadas (siglas en inglés) fueron: número de lechones nacidos vivos (PBA), peso promedio de la camada al nacimiento (ABW), número de lechones destetados (PW), peso promedio de la camada al destete (AWW), supervivencia durante la lactancia (S) e intervalo destete-celo fecundante (WCI). Las cerdas D produjeron 1,1 PBA más ( $p=0,03$ ) que las cerdas P, y también se observó un efecto de heterosis (0,88 lechones,  $p=0,009$ ) sobre dicha variable y sobre PW (0,72 lechones,  $p=0,03$ ). Las cerdas H produjeron 1,43 y 1,15 lechones más que las cerdas P, y 0,33 y 0,29 lechones más que las cerdas D, nacidos vivos y destetados respectivamente. La consanguinidad mostró una tendencia a incrementar el AWW ( $p=0,053$ ) pero no tuvo efecto sobre el resto de las variables. Los valores de heredabilidad fueron 0,13; 0,31; 0,14; 0,16; 0,07 y 0,09 para PBA, ABW, PW, AWW, S y WCI, respectivamente. En los partos de fines del invierno y primavera se observaron lechones más pesados al nacimiento ( $p<0,001$ ) y al destete ( $p<0,01$ ), pero no se encontró efecto sobre las variables relacionadas al tamaño de la camada (PBA, PW, S). El WCI presentó los mayores valores en los meses de verano ( $p<0,001$ ). Algunos resultados sugieren un posible comportamiento reproductivo estacional. Es original en nuestro medio este uso de recursos genéticos, donde la raza local fue comparada a una convencional resultando competitiva, particularmente como cruzada dada la presencia de heterosis en los caracteres de camada.

**Palabras clave:** caracteres de camada, raza local, sistema pastoril, estacionalidad reproductiva, parámetros genéticos.

## SUMMARY

### **Genetic and environmental factors affecting reproductive traits in pigs in an outdoor production system**

The aim of this study was to characterize the genetic and environmental factors affecting reproduction of sows on an outdoor production system. Data from the Unidad de Producción de Cerdos of Facultad de Agronomía, Progreso, Uruguay, were used. The breeding herd involved purebred Pampa Rocha (P), Duroc (D), and hybrid (H: PxD and DxP) sows. The dataset contained records from 1,309 litters and 197 sows (136 P, 22 D and 39 H) collected from 1997 to 2011. Feeding is strongly based on grazing, restricting the use of concentrate on breeding herd. The variables analysed were: number of piglets born alive (PBA), average litter weight at birth (ABW), number of piglets weaned (PW), average litter weight at weaning (AWW), survival during lactation (S) and weaning-to-conception interval (WCI). D sows produced 1.1 more PBA ( $p=0.03$ ) than P sows, and an heterosis effect for PBA (0.88 piglets,  $p=0.009$ ) and for PW (0.72 piglets,  $p=0.03$ ) was also found. H sows produced 1.43 and 1.15 piglets more than P sows, and 0.33 and 0.29 piglets more than D sows, born alive and weaned respectively. Inbreeding tended to raise the AWW ( $p=0.053$ ) and has no effect on any other variable. Heritability values were 0.13, 0.31, 0.14, 0.16, 0.07 and 0.09 for PBA, ABW, PW, AWW, S and WCI, respectively. Heavier piglets at birth ( $p<0.001$ ) and at weaning ( $p<0.01$ ) were found on farrowings from late winter and spring, but no effect on those variables related to litter size (PBA, PW, S) was observed. WCI presented larger values in summer months ( $p<0.001$ ). Some results may indicate a possible seasonal reproductive behaviour. Particularly original are the aspects referred to the use of genetic resources, where a local breed has been compared with a known breed, and found competitive, particularly as a crossbred dam, due to the presence of heterosis in litter traits.

**Keywords:** litter traits, local breed, grazing-based system, reproductive seasonality, genetic parameters.

## 1. INTRODUCCIÓN

La eficiencia de cualquier sistema productor de lechones tiene a la productividad de la cerda, estimada fundamentalmente a través del número o kilogramos de lechón que es capaz de destetar anualmente, como uno de sus principales indicadores.

Desde que ocurre la ovulación hasta el destete existen una serie de fenómenos inherentes tanto a la hembra como al macho que determinarán el número de lechones destetados y el peso de los mismos. Dichos fenómenos son influidos por factores genéticos como el genotipo y el nivel de consanguinidad, fisiológicos como la edad y el número de parto, y ambientales como la alimentación y la época del año, los que contribuyen a la variación observada en el desempeño reproductivo de la cerda.

### 1.1 FACTORES GENÉTICOS

El genotipo de la cerda influye en las variables reproductivas y productivas (Rothschild, 1996). En efecto, existen variaciones raciales en cuanto a la edad en que la cerda alcanza la pubertad (Young, 1995), el tamaño de camada (López y Galíndez, 2011; Young, 1995; Gaugler *et al.*, 1984), el peso de la camada al nacer (López y Galíndez, 2011; Gaugler *et al.*, 1984), la supervivencia de los lechones durante la lactancia y peso al destete (Gaugler *et al.*, 1984). Varios trabajos han comparado distintos genotipos en distintos ambientes; en términos generales las razas que tienen un mejor desempeño reproductivo, estimado a través del número de lechones nacidos y pesos de la camada al nacimiento y al destete, tienen mayores intervalos destete-celo o destete-concepción (Tantasuparuk *et al.*, 2000). Las razas chinas, en términos generales son más prolíficas y precoces que las razas occidentales (Young, 1995; Haley y Lee, 1993; White *et al.*, 1993). En Uruguay, también se han reportado efectos del genotipo sobre el número de lechones nacidos totales cuando se han comparado razas comerciales como

Large White, Landrace y Duroc en sistemas de producción de semi-confinamiento (Echenique y Urioste, 1996; Carrau *et al.*, 1989). Sin embargo, existen evidencias de que la raza Duroc no presenta ventajas productivas sobre la raza local Pampa Rocha en sistemas al aire libre de base pastoril (Dalmas y Primo, 2004).

Las estimaciones de parámetros genéticos de caracteres reproductivos suelen ser bajas. Chen *et al.* (2003) reportaron en las razas Yorkshire, Duroc, Hampshire y Landrace valores de heredabilidad entre 0,08 y 0,10 para lechones nacidos vivos y lechones vivos a los 21 días, y algo menores (0,05 a 0,07) para lechones destetados. Similares valores de heredabilidad (0,05) y valores de repetibilidad entre 0,15 a 0,18 fueron reportados por Chansomboon *et al.* (2010) en una población de Landrace, Large White y sus cruzas para la mayoría de los caracteres de camada. Las estimaciones de heredabilidad y repetibilidad para el intervalo destete-celo también son bajas (Chansomboon *et al.*, 2010; Cavalcante Neto *et al.*, 2008). Estos caracteres tienen varianzas ambientales muy grandes, es decir los factores ambientales tienen un gran impacto sobre ellas, por lo que la varianza genética es proporcionalmente pequeña (Corral *et al.*, 2010). Trabajos nacionales tanto en Pampa Rocha (Dalmas y Primo, 2004) como en razas comerciales (Gil y Urioste, 2000) reportaron también valores de repetibilidad bajas para caracteres reproductivos. Si bien las estimaciones de heredabilidad y repetibilidad para estos caracteres suelen ser bajas, Chen *et al.* (2003) luego de analizar una base de más de 450.000 registros de distintas razas comerciales, sugieren que la varianza genética estimada para los caracteres de camada es lo suficientemente grande como para esperar respuestas en estas características a través de la selección.

Los caracteres de baja heredabilidad como aquellos referidos al desempeño reproductivo pueden ser mejorados a través del uso de cruzamientos. En este sentido, diferencias en tamaño de camada entre líneas de cerdo Ibérico del orden de 0,5 a 1,0 lechón nacido vivo fueron reportadas por García-Casco *et al.* (2012), mientras que Cassady *et al.* (2002) encontraron que la heterosis individual



incrementó el peso de la camada al destete, el número de pezones, el peso a la pubertad, y el tamaño y peso de camada al parto. Similares resultados fueron reportados por [Nwakpu y Ugwu \(2009\)](#), quienes constataron que la heterosis obtenida por los cruzamientos entre razas comerciales y locales mejoró la mayoría de los caracteres como prolificidad, habilidad materna y peso de las camadas.

Otro factor que tiene efectos sobre el desempeño reproductivo de los animales es la consanguinidad. Cuando dos individuos emparentados producen descendencia, la progenie es entonces consanguínea. Tres hipótesis principales constituyen la base genética de la depresión endogámica, (i) la dominancia parcial, debida a la expresión de alelos recesivos desfavorables que permanecen ocultos con la heterocigosis; (ii) la sobredominancia, que atribuye la depresión a la superioridad de los heterocigotas sobre ambos homocigotas; y (iii) la que atribuye la depresión endogámica a la ruptura de la interacción epistática entre loci. En la medida en que tanto la depresión endogámica como la heterosis están explicados por efectos genéticos no aditivos, es de esperar que los mismos caracteres que responden bien a los cruzamientos lo hagan adversamente a la consanguinidad. En este sentido, existen diversos trabajos que han reportado los efectos negativos de la consanguinidad sobre los caracteres de camada ([Farkas \*et al.\*, 2007](#); [Bereskin \*et al.\*, 1968](#)). Sin embargo, efectos positivos de la consanguinidad sobre estos caracteres también han sido reportados ([Köck \*et al.\*, 2009](#)).

## 1.2 FACTORES FISIOLÓGICOS

En la cerda, como en los demás mamíferos, la edad afecta el comportamiento reproductivo. Al alcanzar la pubertad el desarrollo fisiológico no se ha completado aún, la tasa ovulatoria aumenta en los estros posteriores ([Christenson, 1986](#)), y es conocido el hecho que las cachorras presentan un menor tamaño de camada que las cerdas adultas. [Holanda \*et al.\* \(2005\)](#) describen

la prolificidad de la cerda con una función cuadrática, donde los partos de las cachorras obtienen camadas menos numerosas, ocurriendo el pico de producción entre los 2,5 y 4 años, para luego descender en animales de más edad.

Es abundante la literatura que indica que el número u ordinal de parto de la cerda influye en el tamaño y peso de la camada al nacer y al destete ([García González et al., 2011](#); [Fernández et al., 2008](#); [Milligan et al., 2002](#); [Tummaruk et al., 2001](#); [Gómez Medina et al., 1999](#)), así como en el intervalo destete-celo y destete-concepción, siendo más prolongados en cachorras que en cerdas adultas ([Leite et al., 2011](#); [Karvelienė et al., 2008](#)).

Sin considerar las pequeñas variaciones que existen en el largo de gestación o el largo de la lactancia, que responden al manejo en determinado sistema de producción, el tiempo que transcurre entre el destete y el inicio de una nueva gestación tiene un importante impacto en la cantidad de lechones producidos por cerda anualmente ([Cavalcante Neto et al., 2009](#)). Es claro que la cachorra es la categoría de más baja eficiencia reproductiva de un plantel. Sin embargo, [Mapiye et al. \(2010\)](#) trabajando con cerdos locales en condiciones subtropicales a campo, no encontraron efecto del ordinal de parto sobre el tamaño de camada al parto.

Trabajos nacionales ([Gil y Urioste, 2000](#); [Echenique y Urioste, 1996](#)) también reportaron que el ordinal de parto es el factor de mayor incidencia en la variación del número de lechones nacidos vivos y totales, con las cachorras presentando los menores valores, mientras que [Carrau et al. \(1989\)](#) reportaron menores pesos de la camada al nacimiento en las hembras primerizas.

### 1.3 FACTORES AMBIENTALES

La presencia del celo a un intervalo irregular luego del apareamiento, el nacimiento de una camada pequeña o el aborto, son indicios de fallas reproductivas en la cerda. La mortalidad prenatal puede llegar a cifras de 35 a

45%, de la cual el 30% son pérdidas embrionarias que suceden durante los primeros 40 días de gestación. Más allá de las pérdidas consideradas normales, existen otras causadas por factores externos que inciden sobre el mantenimiento de la gestación, estos son la temperatura ambiente y las condiciones de manejo y alojamiento (Martínez, 1998).

Si bien el cerdo doméstico (*Sus scrofa domestica*) no es verdaderamente estacional y puede reproducirse todo el año, en el verano tardío y comienzo del otoño las variables reproductivas presentan los valores menos favorables (Peltoniemi *et al.*, 2000), época en la que su ancestro, el cerdo silvestre europeo (*Sus scrofa*), manifiesta su período de anestro (Mauget, 1982). El cerdo silvestre europeo presenta una marcada estacionalidad caracterizada por una época reproductiva al inicio del invierno y un período de infertilidad en verano y comienzo del otoño (Mauget, 1982). Esta estrategia reproductiva permite el nacimiento de las crías en la época más favorable del año: la primavera. En el cerdo doméstico se han reportado vestigios de estacionalidad reproductiva, la que se caracteriza por un retardo en la edad a la que se alcanza la pubertad, una reducción en el porcentaje de parición y en el tamaño de camada, así como intervalos destete – celo más prolongados durante el verano tardío y el comienzo del otoño (Tummaruk *et al.*, 2001; Peltoniemi *et al.*, 2000; Tummaruk *et al.*, 2000; Xue *et al.*, 1994). Existen trabajos que refuerzan la hipótesis del prominente papel que tiene el fotoperíodo (Greer, 1986; Chokoe y Siebrits, 2009), y más evidentemente las altas temperaturas ambientales en la prolongación del anestro en el verano (Auvigne *et al.*, 2010; Prunier *et al.*, 1996), sin embargo, también actúan otros factores tales como la nutrición y las interacciones sociales (Peltoniemi *et al.*, 1997; Hennessy y Williamson, 1984).

Los mecanismos neuroendocrinos que median los efectos del fotoperíodo sobre el eje hipotálamo-hipófisis-ovario no son completamente comprendidos en el cerdo doméstico. En especies estacionales, el fotoperíodo regula la reproducción a través de variaciones en la secreción de melatonina por la glándula pineal y subsecuentemente modificaciones en la secreción de

gonadotropinas (Lincoln, 1982; Bittman *et al.*, 1985). Sin embargo, en el cerdo doméstico los patrones de melatonina (Prunier *et al.*, 1996) y los cambios que induce el fotoperíodo sobre la secreción de hormona luteinizante (LH; Hälli *et al.*, 2008) son confusos. Por otra parte, se ha reportado que el contenido de hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) en el hipotálamo, el contenido de LH en la adenohipófisis, al igual que las concentraciones séricas de LH fueron menores luego de los destetes estivales que de los invernales, así como el número de folículos > 5 mm de diámetro (Armstrong *et al.*, 1986). Estos hallazgos sugieren que las vías dependientes de la GnRH están fuertemente involucradas en el anestro pos destete del verano, y dichos autores argumentan que los menores consumos durante las lactancias estivales posiblemente predispongan la actividad del eje hipotalámico – adenohipofisario a dichas anomalías.

Por otra parte, teniendo en cuenta que un mayor consumo durante la lactancia reduce el intervalo destete-estro (Gourdine *et al.* 2006), y que las cerdas lactantes y particularmente las primíparas reducen su consumo en condiciones de alta temperatura (Santos Ricalde y Lean, 2000; Armstrong *et al.*, 1986), puede sugerirse que el retraso en el estro durante el verano se deba al menos en parte, a deficiencias nutricionales (Prunier *et al.*, 1996). En este sentido, el espesor de grasa dorsal (EGD) en las hembras no es simplemente una reserva de energía sino que juega un importante papel en el transporte de estrógenos en la sangre, hormonas que estimulan la foliculogénesis y por lo tanto mejoran la fertilidad y productividad de las cerdas con mayor EGD (Vogrin Bračić y Škorjanc, 2008).

Considerando que el período de infertilidad en la cerda sucede en el verano, varios autores señalan a las altas temperaturas ambientales como el factor responsable (Love, 1978; Paterson *et al.*, 1978); sin embargo, los resultados no son concluyentes. De todos modos, los efectos negativos de las altas temperaturas sobre el comportamiento reproductivo de la cerda están bien documentados. Las altas temperaturas influyen negativamente sobre el tamaño y peso de la camada. En este sentido, Williams *et al.* (2013) al comparar cerdas

sometidas a estrés calórico contra cerdas en condiciones de termo-neutralidad encontraron que el estrés calórico disminuyó el peso al destete de los lechones pero no afectó el desempeño reproductivo posterior de las cerdas. Similares resultados fueron reportados por [Koketsu y Dial \(1997\)](#), quienes observaron que las cerdas paridas en verano tuvieron camadas más livianas al destete. [Braun et al. \(2008\)](#) evaluaron refugios con media sombra y aspersores para mitigar la incidencia de las altas temperaturas estivales de la Pampa argentina, obteniendo camadas más numerosas y pesadas al nacimiento y al destete. Del mismo modo, [Santos Ricalde y Lean \(2000\)](#) reportaron una reducción de la actividad pastoril de las cerdas gestantes, modificaciones en la composición de la leche materna, menores pesos promedio al destete, menores ganancias de peso y grasa dorsal del parto al destete, y de la monta al destete en cerdas sometidas a estrés calórico en un sistema de producción en exterior bajo condiciones tropicales. Por otra parte, [Mapiye et al. \(2010\)](#) en condiciones subtropicales, encontraron un efecto depresor del crecimiento desde parto al destete, así como menores tamaños de camada al destete durante los meses fríos trabajando con cerdos criollos en sistemas a campo.

A pesar de la benevolencia y cierta homogeneidad de nuestro clima templado, existen trabajos en nuestro país que han evaluado la incidencia ambiental sobre el desempeño reproductivo de la cerda. En este sentido [Motta \(1991\)](#), analizando la estación del año sobre el desempeño reproductivo de un rodeo de cerdas ubicado en el sur del país, encontró una clara incidencia de los meses cálidos en la tasa de parto ( $N^{\circ}$  partos/ $N^{\circ}$  cerdas servidas) pero no en el número de lechones nacidos por camada. Por su parte [Carrau et al. \(1989\)](#), al analizar los registros productivos de dos establecimientos de nuestro país encontraron que las gestaciones ocurridas durante el verano produjeron camadas menos numerosas. Ambos trabajos fueron realizados en sistemas convencionales y con los genotipos Duroc, Landrace, Large White y sus cruzas. Sin embargo, en las condiciones de producción a campo en nuestro país, [Alesandri et al. \(2010\)](#) no encontraron influencia de la estación del año sobre el intervalo destete-servicio fecundante. Por su parte, [Dalmas y Primo \(2004\)](#) encontraron incidencia de la

época del año sobre la mortalidad en las primeras horas de vida de la camada en producción a campo.

La influencia de los factores climáticos sobre la reproducción en el cerdo ha sido reportada tanto a latitudes altas (Hälli, 2008; Tummaruk *et al.*, 2001; Peltoniemi *et al.*, 1999), intermedias (Auvigne *et al.*, 2010; Koketsu y Dial, 1997; Prunier *et al.*, 1996), como bajas (Gourdine *et al.*, 2006), así como para condiciones de clima templado (Iida y Koketsu, 2013; Lipenský *et al.*, 2010), tropical (Suriyasomboon *et al.*, 2006; Fuentes *et al.*, 2000), como mediterráneo (Černe, 1987; Perestrelo Vieira y Perestrelo Vieira, 1987; Dobao *et al.*, 1983). Por otra parte, la mayoría de la información reportada en la literatura internacional sobre el comportamiento reproductivo y los factores que lo influyen fue producida con genotipos altamente especializados y en sistemas de producción intensivos que incluyen la estabulación completa. Sin embargo, las regulaciones de la Unión Europea establecen que para el 2013 todas las cerdas gestantes sean mantenidas en sistemas de alojamiento sin jaulas (Sørensen *et al.* 2006). Por el contrario, la información disponible en sistemas de producción de cerdos al aire libre es escasa, a pesar que éstos pueden ofrecer ciertas ventajas considerando el bienestar animal y posiblemente menores impactos ambientales.

#### **1.4 LA PRODUCCIÓN AL AIRE LIBRE Y EL CERDO PAMPA ROCHA**

En América Latina existen sistemas de producción tradicionales, generalmente a cielo abierto, con o sin uso del pastoreo. En éstos predomina el uso de genotipos locales, dada su adaptación a variados regímenes alimentarios, capacidad de transformación de subproductos agroindustriales, resistencia a temperaturas extremas y a enfermedades de tipo infeccioso (Benítez y Sánchez, 2001). Algunos de estos factores ocasionan grandes pérdidas en los sistemas intensivos estabulados. Por otra parte, existe mundialmente la inquietud de preservar la variabilidad genética a través de la conservación de biotipos locales

(Lobo Arias y Medina Cano, 2009; Segura-Correa y Montes-Pérez, 2001), y el cerdo Pampa Rocha es una raza local de nuestro país que se ha mantenido durante décadas en sistemas pastoriles extensivos de la región este (Vadell, 2008).

El origen de la cría de cerdos a campo en nuestro país está íntimamente ligado al uso de los ecosistemas pastoriles como recurso alimenticio para el cerdo, de carácter permanente, de bajo costo, y no competitivo con la alimentación humana. El Uruguay posee condiciones favorables para la producción de pasto durante todo el año, lo que ha permitido una arraigada costumbre de complementar la alimentación de los cerdos mediante el libre acceso a dichos ecosistemas pastoriles (Vadell, 2005). El 84% de los productores de cerdos son de tipo familiar, se caracterizan por contar con rodeos pequeños, donde el 89% de las explotaciones manejan menos de 20 madres (MGAP, 2000), acaparando apenas el 20% de las existencias totales (Tommasino y Bruno, 2005). Esta predominancia de productores pequeños en el rubro hace que la especialización productiva que prevalezca sea la cría, comprendiendo el 77% de los productores comerciales. Esto se debe a que se trata de una actividad que tolera diferentes sistemas de alojamiento y alimentación, y a las escasas exigencias del mercado comprador de lechones (MGAP, 2006). Por otro lado, es una actividad que mayoritariamente se realiza a campo, implicando costos menores, tanto en inversiones como en capital circulante, por lo que se presenta como la opción más factible de llevar a cabo por pequeños productores (Vadell, 2005).

Las características del pequeño productor familiar criador mencionadas anteriormente fueron en las que se basaron los criterios que debían considerarse en el desarrollo de un modelo de producción, de manera que fuera fácilmente adaptable y adoptable por este tipo de productor. Con este objetivo la Facultad de Agronomía (Universidad de la República, Uruguay) ha desarrollado un sistema de producción de cerdos al aire libre de base pastoril (Unidad de Producción de Cerdos, UPC) que incorporó el uso de un genotipo local (Pampa Rocha) y su cruzamiento con la raza convencional Duroc, de gran distribución en nuestro país.

Existen varias referencias que describen dicho modelo: [Vadell \(1999\)](#), [Vadell \(2005\)](#), [Barlocco \(2007\)](#), [Díaz \(2008\)](#), entre otros. De forma resumida se puede mencionar que es un sistema donde todos los procesos productivos se llevan a cabo a cielo abierto (servicio, gestación, parto y lactancia) para lo cual se utiliza un solo tipo de instalación de campo; se utilizan razas y cruzamientos con alta adaptación al pastoreo, se restringe el uso de ración balanceada y se maximiza la utilización de pasturas en el rodeo reproductor. Las principales características de manejo son un destete a los 42 días y un servicio de monta natural a campo (para lo cual se colocan hasta dos cerdas por padrillo en un piquete por un período no menor a 30 días). Es un sistema que permite la adaptación de sus componentes a la realidad del productor y su predio, y que da gran importancia al uso de recursos locales, sobre todo a aquellos posibles de ser usados como alimento (de allí la importancia de la utilización de pasturas como fuerte base de la alimentación en las categorías adultas).

Si bien se cuenta con información sobre algunos aspectos del comportamiento productivo y reproductivo de cerdo Pampa Rocha ([Vadell et al., 2010](#); [Carballo et al., 2010](#); [Barlocco et al., 2009](#); [Monteverde, 2001](#); [Vadell et al., 1997](#)), interesa comparar su desempeño con el de un genotipo convencional en un sistema al aire libre de base pastoril.

## **1.5 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

### **1.5.1 Hipótesis**

Las hipótesis que se plantearon en este trabajo fueron: (i) que en un sistema de producción al aire libre de base pastoril existirían diferencias en el comportamiento reproductivo de las cerdas de los genotipos Pampa Rocha, Duroc y sus cruzas; (ii) que el efecto del medio ambiente, evaluado a través del mes o de la estación, tendría influencia en el comportamiento reproductivo de las cerdas; (iii) que existiría variación genética aditiva en las características en



estudio, a pesar de tratarse de una población pequeña; y (iv) que los niveles de consanguinidad actuales no estarían afectando el desempeño reproductivo.

### **1.5.2 Objetivos**

En función de las hipótesis planteadas anteriormente, los objetivos del presente trabajo fueron: (i) comparar el desempeño reproductivo de los genotipos Pampa Rocha, Duroc y sus cruzas en dicho sistema; (ii) evaluar el efecto del ambiente a través del mes o de la estación sobre el comportamiento reproductivo (a través de las variables lechones nacidos vivos, peso promedio de los lechones al nacimiento, supervivencia durante la lactancia, lechones destetados, peso promedio de los lechones al destete e intervalo destete – servicio fecundante); (iii) estimar la heredabilidad y repetibilidad de dichas variables; y (iv) estimar los niveles de consanguinidad de los grupos genéticos estudiados y determinar si los mismos están afectando el comportamiento reproductivo.

## **1.6 ESTRUCTURA DEL PRESENTE TRABAJO DE TESIS**

La estructura central de la tesis consiste en un artículo científico titulado “*Genetic and environmental factors affecting reproductive traits in sows in an outdoor production system*” el que constituye el segundo capítulo de la misma. En este artículo se presentan los principales resultados encontrados en este trabajo de tesis: los parámetros genéticos estimados para la población multirracial con la que se trabajó, así como una discusión de la importancia del principal factor ambiental que afecta la reproducción de los cerdos en el sistema bajo estudio. Posteriormente se realiza una discusión general y se efectúan consideraciones finales.

**2. GENETIC AND ENVIRONMENTAL FACTORS AFFECTING  
REPRODUCTIVE TRAITS IN SOWS IN AN OUTDOOR PRODUCTION  
SYSTEM<sup>1</sup>**

Washington Bell<sup>a</sup>

a. Unidad de Producción de Cerdos (UPC), Centro Regional Sur (CRS). Departamento de Producción Animal y Pasturas (DPAP), Facultad de Agronomía, Universidad de la República (UDELAR). Garzón 780, Montevideo, Uruguay. Email: [wbell@fagro.edu.uy](mailto:wbell@fagro.edu.uy)

Jorge I. Urioste<sup>b2</sup>

b. Grupo Disciplinario de Mejoramiento Genético Animal. DPAP, Facultad de Agronomía, UDELAR. Garzón 780, Montevideo, Uruguay. Email: [urioste.jorge@gmail.com](mailto:urioste.jorge@gmail.com)

Nelson Barlocco<sup>c</sup>

c. UPC, CRS. DPAP, Facultad de Agronomía, UDELAR. Garzón 780, Montevideo, Uruguay. Email: [nbarlocc@fagro.edu.uy](mailto:nbarlocc@fagro.edu.uy)

Antonio Vadell<sup>d</sup>

d. UPC, CRS. DPAP, Facultad de Agronomía, UDELAR. Garzón 780, Montevideo, Uruguay. Email: [avadellm@gmail.com](mailto:avadellm@gmail.com)

Raquel Pérez Clariget<sup>e</sup>

e. Grupo Disciplinario de Anatomía y Fisiología Animal. DPAP, Facultad de Agronomía, UDELAR. Garzón 780, Montevideo, Uruguay. Email: [raquelperezclariget@gmail.com](mailto:raquelperezclariget@gmail.com)

---

1 This manuscript was written according to the "Guide for authors on article submission" of Elsevier's journal "Livestock Science". <http://www.journals.elsevier.com/livestock-science>

2 Corresponding author: [urioste.jorge@gmail.com](mailto:urioste.jorge@gmail.com). Av. Eugenio Garzón 780, Montevideo, Uruguay. Phone number: +598 2355 9636.

## Abstract

The aim of this study was to characterize the genetic and environmental factors affecting reproduction of sows on an outdoor production system. Some of the traits examined have not been reported elsewhere. Data from the Experimental Swine Unit of Facultad de Agronomía, Progreso, Uruguay, were used. The breeding herd included purebred Pampa Rocha (P) and Duroc (D), as well as hybrid (H: PxD and DxP) sows. P is considered the only local swine breed of Uruguay. The dataset contained records from 1,309 litters and 197 sows (136 P, 22 D and 39 H) collected from 1997 to 2011. Feeding is strongly based on grazing, restricting the use of concentrate to the breeding herd. The variables analysed were: number of piglets born alive (PBA), average litter weight at birth (ABW), number of piglets weaned (PW), average litter weight at weaning (AWW), survival during lactation (S) and weaning-to-conception interval (WCI). Several models were tested and the following factors were included: time of the year, parity number, inbreeding of the sow, weaning age, year of farrowing, direct racial effects, individual heterosis, repeated measures on the sow, and the animal random effect. Tests of significance of fixed effects were performed using maximum likelihood (ML), whereas estimates of variance components and fixed effects for each variable were obtained using restricted ML. D sows produced 1.1 more PBA ( $p=0.03$ ) than P sows. A significant heterosis effect was found for PBA (0.88 piglets,  $p=0.009$ ) and for PW (0.72 piglets,  $p=0.03$ ). H sows produced 1.43 and 1.15 piglets more than P sows, and 0.33 and 0.29 piglets more than D sows, born alive and weaned, respectively. Greater inbreeding was associated with greater AWW values ( $p=0.053$ ), but that was not the case with

other variables. Heritability values for PBA, ABW, PW, AWW, S and WCI were 0.13, 0.31, 0.14, 0.16, 0.07 and 0.09, respectively. Winter and Spring farrowings resulted in heavier piglets at birth ( $p<0.001$ ) and at weaning ( $p<0.01$ ), but no effect on those variables related to litter size (PBA, PW, S) was observed. WCI was greater in summer months ( $p<0.001$ ). The results suggest seasonal reproductive behaviour. The use made of the genetic resources constitutes an original approach in Uruguay, where the local breed was compared with a conventional one with a favourable result, especially in the crossbred dam, due to heterosis in litter traits.

**Keywords:** litter traits, local breed, grazing-based system, reproductive seasonality, heritability, heterosis.

## 1. Introduction

Productivity of an individual sow depends on a number of reproductive traits, such as litter size at birth, litter weight at weaning and weaning-to-conception interval among others. This determine a key indicator of herd productivity: the number and kilograms of piglets that a sow weans annually. There are different events from ovulation until weaning, involving both the sow and the boar, that will determine the number of piglets weaned and their weight. There are numerous factors influencing sow output (e.g. the effects of genotype, age of sow and boar, parity number, feeding level, time of year that mating occurs). Breed differences have been reported in age at puberty (Young, 1995), litter size (Gaugler *et al.*, 1984; López and Galíndez, 2011; Young, 1995), litter weight (Gaugler *et al.*, 1984; López and Galíndez, 2011), weaning weight and piglets survival during lactation (Gaugler *et al.*, 1984). There is also abundant literature indicating that parity of sow influences litter size and weight both at birth and weaning (Fernández *et al.*, 2008; Tummaruk *et al.*, 2001). Moreover, despite the fact that the domestic pig can reproduce all year round, it shows some reproductive seasonal behaviour, such as reduced farrowing rate, delayed puberty onset, longer weaning-to-oestrus intervals and smaller litter size during late summer and early autumn (Peltoniemi *et al.*, 2000). There is evidence indicating that high temperatures hinder heat expression, decrease ovulation rate and sperm quality, causing lower farrowing rates and number of piglets per litter. This occurs under conditions of Mediterranean (Dobao *et al.*, 1983), tropical (Fuentes *et al.*, 2000), and temperate climate (Lipenský *et al.*, 2010).

The production systems of the major pig meat producing countries in the world are characterized by confinement and a highly intensive use of resources. Alternative and less intensive production systems have increased in many countries, where public concern about animal welfare and environmental impacts caused by confinement have been growing. The outdoor pig production systems have been developed as a modern variant of the traditional extensive systems. Examples of the strong development of these systems can be found in the UK, France, USA and others countries of the EU (Sørensen *et al.*, 2006), Argentina, Brazil, or recent developments in Spain, where outdoor production was traditional in Iberian pig production and now is taking place with conventional breeds as well. In Latin America, traditional extensive production systems use local genotypes. These have shown good adaptation to varied feeding regimes, aptitude in transforming agro industrial by-products, resistance to thermal extremes and to infectious diseases that cause important losses in intensive systems (Benítez and Sánchez, 2001). Not also that, the preservation and utilization of local breeds is a prime concern (Lobo Arias and Medina Cano, 2009; Segura-Correa and Montes-Pérez, 2001).

The origin of outdoor pig production in Uruguay is closely linked to the use of grassland ecosystems as a feed resource for pigs. The favourable conditions for forage production throughout the year has encouraged the practice of complementing pigs feeding with free access to these grassland ecosystems, as it is a resource that is permanently available, of low cost, and non-competitive with human feed. A local pig breed called Pampa Rocha has been developed

associated to those extensive systems. It is considered the only local swine breed of Uruguay. It is believed to be derived from animals introduced by Spanish and Portuguese settlers, with later contributions of breeds such as Berkshire and Poland China (Kelly *et al.*, 2004; Urioste *et al.*, 2002). Most animals of this breed are kept by small farmers in eastern Uruguay, where the use of balanced feeds or special housing facilities for pigs is not common. This is an area of naturally and frequently flooded grasslands. The rusticity, foraging ability, docility and maternal ability are the main features listed by farmers as reasons for this biotype surviving over the years in extremely adverse conditions.

Most of the reported information about factors influencing reproduction in pigs is derived from studies with highly specialized genotypes in intensive production systems. There is generally limited information about the performance of local pig breeds. In the case of Pampa Rocha, its comparative performance with conventional breeds, specially in grazing production systems, has not been rigorously evaluated.

The objectives of the present investigation were: (i) to evaluate the effects of environment throughout the year on the main reproductive variables in pigs in an outdoor production system based on pasture grazing; (ii) to compare Pampa Rocha and Duroc purebreds and its crosses in that system; and (iii) to estimate genetic parameters, namely, inbreeding effects, heritability and repeatability for the studied variables.

## 2. Material and Methods

### 2.1. Location and management

The study was based on records from the Experimental Swine Unit (Unidad de Producción de Cerdos, UPC) of Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay (34° 36' S, 56° 13' W). The temperate climate of the area is characterised by an average rainfall uniformly distributed throughout the year (1100 mm/y), with 11.4 and 22.2 °C of minimum and maximum average temperatures respectively, and 73% of average (annual) relative humidity.

The UPC has developed an outdoor production system strongly based on grazing. The whole cycle is carried out in outdoor conditions. Sown pastures that include white clover (*Trifolium repens*), red clover (*T. pratense*) and chicory (*Cichorium intybus*) are used for all animals. The provision of concentrate was restricted to 50% of requirements during gestation, trying to maximize grazing by the breeding herd. The stocking rate was 6 sows/ha, to ensure pasture availability most of the time. Animals have automatic water drinking devices in every paddock. Natural mating was practiced, putting together two or three sows with a boar at least for a 30-day period immediately after weaning. Farrowing took place in field shelters, where the sow remained during lactation. This facility has approximately 3 m<sup>3</sup> volume, and it is built with pine boards and zinc roof. The only anti crushing element consisted of placing dry grass inside of it, providing favourable conditions to house one single sow and its litter. The dataset included average weaning ages of 56 and 42 days. Data from any relevant



reproductive event was recorded and stored in a database. The parents of every litter were known.

## 2.2. *Data structure*

The breeding herd size was around 40 sows and involved purebred Pampa Rocha (P) and Duroc (D), and hybrid (H) sows, including crosses PxD and DxP (sire x dam). The dataset contained records from 1,309 litters and 197 sows (136 P, 22 D and 39 H sows) collected from 1997 to 2011. The following variables were analysed: number of piglets born alive (PBA), average litter weight at birth (ABW), number of piglets weaned (PW), average litter weight at weaning corrected to 42-d age (AWW), survival during lactation ( $PW/PBA = S$ ) and weaning-to-conception interval (WCI), estimated as (birth date – 114 days) – weaning date. Observations outside the range of mean  $\pm$  3 SD were excluded from the analyses.

Parity number of sows varied from 1 to 18; parities 13 to 18 were assigned to the same category in the statistical analyses. Season was defined as follows: March to May for autumn, June to August for winter, September to November for spring and December to February for summer. Inbreeding coefficients ( $F$ ) were estimated using the ENDOG software ([Gutiérrez and Goyache, 2005](#)). Observations were grouped into three classes according to level of inbreeding. Thereby, class 1 grouped the observations where  $F = 0$ , class 2 for observations of animals with  $0 < F \leq 0.1$ , and class 3 for those with  $F > 0.1$ .

### 2.3. *Statistical analysis*

Several models were initially explored. First, a fixed effects model with time of the year where the reproductive event took place (month or season, depending on the variable analysed), genetic type of the sow, parity number,  $F$  levels and year was tried. An alternative fixed model replaced the genetic type of sow by two linear covariates estimating breed differences and heterosis values (Madalena, 2001), to interpret genetic variation in terms of crossbreeding parameters.

WCI and S were not normally distributed. A transformation to logarithms (base 10) was carried out but there were no differences between transformed and untransformed variables in the significance of the various effects. Hence, we report the results of the analyses in the original scale.

Expansion to a mixed model was straightforward: the sow was included as a random effect, to model repeated measures within a sow. An animal effect was also added, using pedigree information of 288 animals to take into account all additive genetic relationships between animals. Note that these estimations were based on the assumption that the covariance between two animals with the same degree of relatedness was the same regardless of their breed identity in a multi-breed population (Lo *et al.*, 1993). Thus, the final general model used was the following:

$$Y_{ijklmno\bar{p}} = \mu + T_i + PN_j + FS_k + WA_l + YF_m + kdDi_n + k_{PD}hi_o + a_p + pe_q + e_{ijklmnopq}$$

Where  $Y_{ijklmno\bar{p}}$  represents phenotypic observations of each sow for any analysed variable;  $\mu$  is the mean associated with all observations;  $T_i$  is the fixed effect of the time of year;  $PN_j$  is the fixed effect of the parity number;  $FS_k$  is the effect of the inbreeding level on the sow included as a covariable;  $WA_l$  is weaning age included also as a covariable;  $YF_m$  is the fixed effect of year of farrowing;  $Di_n$  is used to assess the direct breed effect (defined as D – P) and  $kd$  is the coefficient of breed proportions;  $hi_o$  is used to assess individual heterosis and  $k_{PD}$  is the percentage of retained heterosis;  $a_p$  is the random additive genetic effect;  $pe_q$  is the random permanent environmental effect; and  $e_{ijklmnopq}$  represents the random residual for each observation. The distributions of  $a$ ,  $pe$  and  $e$  were assumed as  $a \sim N(0, A\sigma_a^2)$ ,  $pe \sim N(0, I\sigma_{pe}^2)$  and  $e \sim N(0, I\sigma_e^2)$ , respectively, where A represents the matrix of additive relationships between animals in the pedigree.

Tests of significance of fixed effects were performed using maximum likelihood (ML), whereas estimates of variance components and fixed effects for each variable were obtained using restricted maximum likelihood (REML). Variance components were estimated and subsequently heritability ( $h^2$ ) and repeatability ( $r$ ) calculated, as:

$$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{(\sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2 + \sigma_e^2)} \text{ and } r = \frac{(\sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2)}{(\sigma_a^2 + \sigma_{pe}^2 + \sigma_e^2)}, \text{ respectively.}$$

The R language (R Core Team, 2012), and the following packages: CAR (Fox and Weisberg, 2011), lme4 (Bates *et al.*, 2012) and pedigreemm (Bates and Vazquez, 2009) were used for the statistical analyses.

### 3. Results

#### 3.1. Descriptive statistics

Descriptive statistics based on edited data are presented in Table 1. The loss of observations when dealing with calculating variables between two or more records as AWW, S and WCI was apparent; when any of the records is missing, complete observation for that variable is lost. All variables were approximately normally distributed; however, WCI had a persistent tail of observations beyond 3 SD even though it concentrates over 75% of observations below the mean value.

Figure 1 (A to D) presents the average of PBA, ABW, PW and AWW by genotype of the sow and total of animals studied, depending on the month of service (Fig. 1A and 1B) or the month of farrowing (Fig. 1C and 1D). Figure 2 presents the average WCI, depending on the month of weaning. Higher weights at birth were obtained when sows were mated from June to September, while higher weights at weaning were obtained when sows farrowed on August and September.

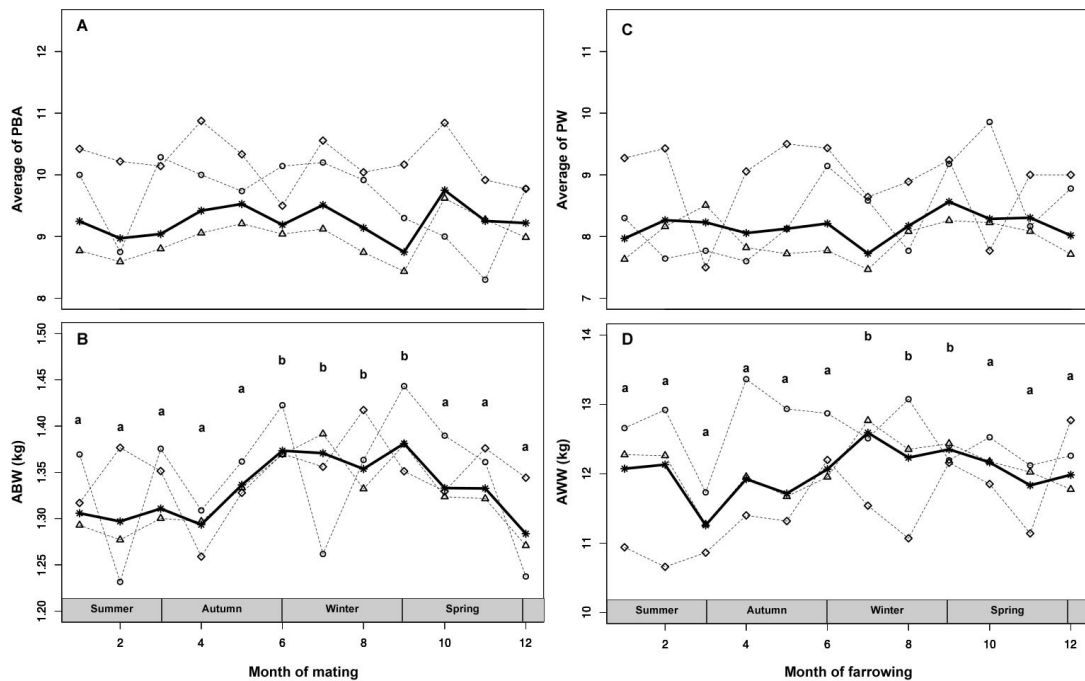
**Table 1.** Descriptive statistics for reproductive performance of the herd including all genotypes.

Variable	N° obs.	Min.	Max.	Median	3 <sup>th</sup> quart.	Mean	SD
PBA (N°)	1303	1	17	9	11	9.25	2.6
ABW (kg)	1265	0.61	2.14	1.31	1.48	1.33	0.25
PW (N°)	1265	1	15	8	10	8.16	2.32
AWW (kg)	1169	5.52	17.9	10.72	12.05	10.87	1.87
S (%)	1260	0.11	1	0.91	1	0.88	0.15
WCI (days)	1046	1	122	7	10	13.68	18.2

PBA: Number of piglets born alive; ABW: Average litter weight at birth; PW: Number of piglets weaned; AWW: Average litter weight at weaning; S: Survival; WCI: Weaning-to-conception interval.

### 3.2. Genetic effects

Average inbreeding value of the herd was  $0.0069 \pm 0.030$ . Over 90% of observations (1198 farrowings) were on the first class ( $F = 0$ ), while 5.6% of observations (77 farrowings) belonged to animals with intermediate inbreeding values, and only 2.6% of observations to animals with inbreeding levels higher than 0.1. Inbreeding tended to affect the AWW ( $p = 0.053$ ) and had no effect on any other variable under study (Table 2). Note that although not statistically significant, estimates for inbred animals were negative for all variables studied, except for AWW.

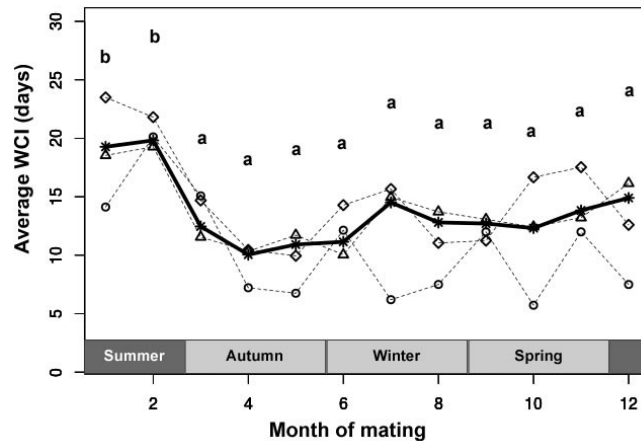


**Figure 1.** Average of PBA (A), BW (B), PW (C) and AWW (E) depending on the month of service (A and B) and the month of farrowing (C and D), by genotype of the sow (° - D; ▲ - P; ◆ - H) and total of animals studied (\*).

Genotype of the sow only affected PBA ( $p = 0.03$ ) and showed a tendency in PW ( $p = 0.08$ ). Duroc sows were superior to Pampa in both variables; that breed superiority was represented by an average of 1.1 PBA and 0.86 PW. The other variables studied were not affected by this factor ( $p > 0.1$ ). When comparing crossbred sows with purebreds, an heterosis effect for both PBA (0.88 piglets,  $p = 0.009$ ) and for PW (0.72 piglets,  $p = 0.03$ ) was found.

Estimates of variance components and corresponding heritability and repeatability values for all variables studied are presented in [Table 3](#). Heritability

estimates found for this group of animals in the system under study were low, except for the ABW which had a moderate heritability (0.31).



**Figure 2.** Average WCI (days) depending on the month of weaning, by genotype of the sow (° - D; Δ - P; ◇ - H) and total of animals studied (\*).

### 3.3. Environmental effects

Significance levels for each factor are presented in Table 2. Month of mating had no effect on the number of PBA ( $p = 0.5$ ); however, affected ABW ( $p = 0.0005$ ). On the other hand, month of farrowing had neither effect on the number of PW ( $p = 0.11$ ) nor on S ( $p = 0.3$ ), but did affect AWW ( $p = 0.005$ ). Heavier litters ( $p < 0.05$ ) were obtained when sows were mated during winter (June – September; Figure 1B), while heavier piglets were weaned when sows farrowed on August and September ( $p < 0.05$ ; Figure 1D). Weaning season influenced WCI ( $p = 0.00004$ ). Longer intervals were observed during summer ( $p < 0.05$ , Figure 2). As expected in an outdoor production system, there was a clear effect of the year over all variables studied (Table 2).

**Table 2.** Significance levels for factors included in the model ( $p$ -value based on the likelihood ratio test;  $p > \chi^2$ ).

Variable / Factors	T	PN	FS	YF	WA	$r_{Y\hat{Y}}$
PBA (N°)	NS	***	NS	*	---	0.45
ABW (kg)	***	***	NS	***	---	0.52
PW (N°)	NS	***	NS	.	---	0.44
AWW (kg)	**	*	.	***	---	0.52
S (%)	NS	*	NS	*	---	0.43
WCI (days)	*	**	NS	**	***	0.21

T: Time of year (mating season for PBA, farrowing season for S; mating month for ABW and WCI, farrowing month for PW and AWW); PN: Parity number; FS: Inbreeding of the sow; YF: Year of farrowing; WA: Weaning age (lactation length);  $r_{Y\hat{Y}}$ : Predicted/observed correlation; PBA: Number of piglets born alive; ABW: Average litter weight at birth; PW: Number of piglets weaned; AWW: Average litter weight at weaning; S: Survival; WCI: Weaning-to-conception interval.

\*\*\*  $p < 0.001$ ; \*\*  $p < 0.01$ ; \*  $p < 0.05$ ; .  $p < 0.1$ .

Parity number affected all variables studied (Table 2). From parity 3 to 7, sows presented larger litter size ( $p < 0.05$ ), while its effect on ABW was extended from parity 2 to 9 ( $p < 0.05$ ). Sows of parity 2 to 5 presented higher number of PW ( $p < 0.05$ ); higher AWW were observed on sows of parity 2 to 7. Longer WCI were observed on gilts ( $p < 0.05$ ), young animals showed 6 to 10 days longer intervals than sows. Weaning age affected WCI ( $p < 0.001$ ); its estimate was  $-0.2$  days,



indicating that WCI is shortened in 1 day for every 5 days that lactation is prolonged.

**Table 3.** Variance estimates, heritability and repeatability for studied variables.

Variable	$\sigma^2_A$	$\sigma^2_{PE}$	$\sigma^2_e$	$\sigma^2_P$	$h^2$	$r$
PBA (N°)	0.83	0.12	5.36	6.31	0.13	0.15
ABW (kg)	$1.8 \times 10^{-2}$	0.0	$3.98 \times 10^{-2}$	$5.75 \times 10^{-2}$	0.31	0.31
PW (N°)	0.74	0.19	4.29	5.22	0.14	0.18
AWW (kg)	0.49	0.0	2.57	3.07	0.16	0.16
S (%)	$1.56 \times 10^{-3}$	$1.49 \times 10^{-3}$	$1.82 \times 10^{-2}$	$2.12 \times 10^{-2}$	0.07	0.14
WCI (days)	26.68	0.0	286.4	313.1	0.09	0.09

$\sigma^2_A$ : Additive variance,  $\sigma^2_{PE}$ : Permanent environmental variance,  $\sigma^2_e$ : Residual variance,  $\sigma^2_P$ : Total or phenotypic variance,  $h^2$ : heritability,  $r$ : repeatability, PBA: Number of piglets born alive; ABW: Average litter weight at birth; PW: Number of piglets weaned; AWW: Average litter weight at weaning; S: Survival; WCI: Weaning-to-conception interval.

#### 4. Discussion

The main objective of this study was to acquire knowledge about genetic and environmental influences on reproductive traits of sows on an outdoor production system. The experimental herd data analyzed in this paper have limitations in structure and size, which reduces the possibility of making precise inferences, especially about genetic parameters. These disadvantages are counteracted by the consistent and reliable recording system and the systematic management. Given the paucity of information regarding reproductive traits

under outdoor systems, and especially information about the local Pampa Rocha breed, the analysis conducted provided some good insight in these aspects.

An important finding in this study is that litter variables affected by the seasonal environment were those related to weight and not those related to size. The litter size at birth and at weaning were, however, the only variables in which an effect of the genotype was found. There was no seasonal influence of environment on litter survival, but an effect on the weaning-to-conception interval was found, indicating some reproductive seasonality.

Results for all variables were within range of those reported by several authors for different production systems (Akdag *et al.*, 2009; Braun *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2011). Although correlations between observed and predicted records, by models, were found around 0.40 and 0.50 in all cases (Table 2), the model used to analyze the WCI had a correlation of only 0.21. This variable involves complex physiological and endocrinological mechanisms, that are triggered by weaning and ends with ovulation and fertilization of the oocytes. In consequence, there would be other factors in addition to those included in the models that may affect this variable.

#### 4.1. Genetic effects

The Duroc sows produced 1.1 more piglets at birth and 0.86 at weaning than Pampa Rocha sows, with no differences in piglets weight at birth or weaning or in other variables. Information about the performance of Duroc and Pampa Rocha breeds under the same production system is very limited. When

interpreting these results, it should be noted that there have been no breeding programs for the Pampa Rocha breed. The results of PBA of Duroc sows were similar to those reported by [Irgang \*et al.\* \(1994\)](#) in southern Brazil, and [Chen \*et al.\* \(2003\)](#) in USA, suggesting that the outdoor grazing conditions where this breed was evaluated was not unfavourable. Furthermore, this type of reproductive trait responds to crossbreeding, and a heterosis effect of 0.88 extra piglets for PBA and 0.72 piglets for PW was observed, representing 9.5% and 8.8% of the mean, respectively. Crossbred sows produced 1.43 and 1.15 piglets more than Pampa Rocha sows, and 0.33 and 0.29 piglets more than Duroc sows, born alive and weaned respectively, suggesting important benefits when applying a crossbreeding strategy.

Genetic parameter estimates for reproductive traits are usually low, but heritability estimates found in this study ([Table 3](#)) were slightly above those reported by [Chen \*et al.\* \(2003\)](#); 0.08 to 0.10 for piglets born alive, and 0.05 to 0.07 for weaned piglets). The repeatability estimates, however, did not differ from those reported by [Chansomboon \*et al.\* \(2010\)](#), working with Landrace and Large White in Thailand, or the findings [Corral \*et al.\* \(2010\)](#) on Iberian pigs in Spain. The environmental variance of litter traits is usually high compared with the genetic variance, and is expected to be even higher in outdoor systems; however, additive genetic variation exists. After analyzing a database of more than 450,000 production records of different commercial breeds, [Chen \*et al.\* \(2003\)](#) stated that the estimated genetic variance for litter traits is high enough to expect responses in these traits through selection programmes.

The estimates of heritability and repeatability for WCI in the present study were consistent with those reported in literature; studies of [Cavalcante-Neto \*et al.\* \(2008\)](#) or [Chansomboon \*et al.\* \(2010\)](#) reported heritability values between 0.04 and 0.11 for this variable.

Inbreeding of the sow had no effect on any of the variables analyzed, except on AWW ( $p = 0.053$ ). Note that differences between inbreeding levels were not statistically significant, except for this variable. This is in agreement with [Bereskin \*et al.\* \(1968\)](#), who reported the negative effects of inbreeding on litter characteristics, both, at birth and at weaning. The effect of inbreeding on AWW is difficult to explain since animals with intermediate levels of inbreeding ( $F < 0.1$ ) weaned piglets around 800 g heavier than the rest of individuals. Probably, the low number of inbred animals and the chance effect (sows that just stand out for heavy weaning weights in that particular class) are the likely explanation of the results.

#### 4.2. *Environmental effects*

The month of mating did not affect the sow prolificacy (PBA), but variables related to litter growth, either in foetal (ABW) or postnatal stage (AWW), were influenced by the month of mating or the month of farrowing respectively. Likewise, WCI was affected by the weaning month (larger values in the summer months).

The domestic pig (*Sus scrofa domestica*) can reproduce all year round, unlike its ancestor the European wild boar (*Sus scrofa*) which has a clear reproductive

seasonality, with winter as mating time and its offspring being born in late spring (Mauget, 1982). However, domestic pig presents reduced fertility in late summer and autumn, which is exhibited mainly as a decreasing farrowing rate, delayed puberty of gilts, increased weaning-to-oestrus interval and, possibly, a reduced litter size during late summer and early autumn (Peltoniemi *et al.*, 2000). Duroc and Pampa Rocha sows at the latitude and system studied did not show a seasonal pattern in prolificacy, contrasting with results reported for white commercial crossbred genotypes in outdoors systems in Argentina (Silva *et al.*, 2011) and with results reported by Tummaruk *et al.* (2004), who worked with Landrace and Yorkshire in Thailand. The results found for WCI agree with the international literature (Iida and Koketsu, 2013; Koketsu and Dial, 1997), being longer in summer months, suggesting seasonal reproductive behaviour. Note that most observations in this study belong to genotype Pampa Rocha, of which information about the impact of time of the year on reproductive performance is not available.

The highest average weights of piglets at birth (1.38 kg) were observed when sows were mated during winter. It is well known that feeding of the sow plays an essential role to determine piglet weight at birth and also on its variation (Campos *et al.*, 2012). The nutritional requirements of sows increase during gestation, and an improper feeding during this period hits negatively on foetal development, and may compromise future performance of the litter (Campos *et al.*, 2012). A negative impact on litter weight at birth when sows were fed with low energy diets has been observed (Buitrago *et al.*, 1974). There is a direct

relation between feeding of the sow and the foetuses weight; a reduction of 28% in consumption after day 80 of gestation results in a litter weight decrease (Noblet *et al.*, 1985). However, under-nourished sows, i.e., in negative energy balance, have the ability to mobilize body reserves to sustain placental and foetal development (Bee, 2004).

One possible explanation for these results is the strong incidence of the availability and quality of pasture, both of them presenting intra and inter annual variations, with its maximum production in spring and the minimum in summer. From late winter to mid-spring, sows mated during winter were in the last third of gestation. During this period, sows have access to more digestible forage, while temperatures are closer to its thermal comfort zone. Likely limitations to consumption, whether by quantity, quality (or both), or heat stress restrictions in warm months, would then not be acting at that moment, favouring heavier piglets at birth. In accordance with this, Rivero *et al.* (2013) reported an allowance effect on forage consumption, where wild boars receiving higher allowances recorded higher forage consumption levels. The effect of heat stress has also been reported; for conditions of the Argentinean Pampa, where sows housed in shelters with shading mesh and sprinklers during warm months, Braun *et al.* (2008) produced heavier litters at birth and at weaning, and were able to gain body weight during gestation and lactation.

The heaviest piglets at weaning were obtained from farrowings of August and September (11.2 kg). Weaning weight is heavily, but not solely, influenced by sow's milk production ability. Lactation is a stage of great energy demands for

the sow, which induces a negative balance, evidenced by the weight loss, and which may compromise future reproductive performance (Thaker and Bilkei, 2005). Lactating periods of sows farrowing in late winter and early spring occur during spring, when forage production is maximum, which would lead to increased consumption and a better energy balance. Both facts would favour increased milk production and larger gain rates of the offspring. Experiments conducted with sows have not been described in the literature, but Rivero *et al.* (2013) found that European wild boars with access to pasture had greater body weight gain than those without access to pasture, and pasture consumption can be enhanced by increasing herbage allowance. In India, Sai Prasanna *et al.* (2010) reported that piglets born in the rainy season achieved a significantly higher weaning weight, compared to those obtained in the rest of the year.

Survival between birth and weaning was not affected by the time of year that lactation took place. These results contrast with those reported by Mapiye *et al.* (2010), who found a growth depressor effect from birth to weaning, and smaller litter sizes at weaning during cold months, working with local breeds in outdoor subtropical conditions.

Interval between farrowings is another factor which determines reproductive efficiency of the sow. Ignoring small variations in gestation or lactation length, time from weaning to beginning of a new gestation has strong impact in the amount of piglets produced by a sow annually. In this research, the WCI was affected by the weaning season, where longer intervals were observed in January and February (19.28 and 19.83 days respectively). These results agree with

regional (Silva *et al.*, 2011) and international literature (Gourdine *et al.*, 2006). High temperatures and solar radiation have been identified as main factors determining infertility of the sow in summer (Einarsson *et al.*, 2008; Peltoniemi *et al.*, 2000). Likewise, increased WCI under high temperatures, have been associated to a reduction in appetite (Einarsson *et al.*, 2008). Most of the information available has been generated in conventional confined systems; thus, in addition to the effects of high temperatures and solar radiation, the effect of high relative humidity typical of Uruguay has to be considered. Indeed, one of the distinguishing aspects between confined system and ours is that the sows harvest their own food, increasing energetic cost and heat production with their walks. Likewise, longer intervals in summer found in our study, not only match with the moments of higher temperature, but also with the critical moment in our system of pasture availability and quality.

Parity number (as a measure of age of the sow) affected all variables under study. There are several reports that agree with these results (Akdag *et al.*, 2009; Čechová, 2006; Gourdine *et al.*, 2006; Tummaruk *et al.*, 2001; Vadell *et al.*, 2010). What seems to be different in our results is that production curves of these genotypes in this system present a more marked plateau, extending the same productivity levels to an advanced age of the sow. This was earlier reported by Vadell *et al.* (2010), who studied reproductive longevity in the Pampa Rocha breed, contrasting with other results found in literature (e.g. Holanda *et al.*, 2005), who reported that the decline in commercial genotypes for reproductive performance occurs from the fifth farrowing.



The length of lactation (WA), used as a covariable, affected the WCI analysis. This factor has also been reported influencing the weaning to oestrus period, but literature reports varying effects. While in this study WCI was shortened in 1 day for every 5 days that lactation was extended, other authors report that an increase in lactation length prolongs the weaning to oestrus period. For example, [Mabry \*et al.\* \(1996\)](#) defined a quadratic function for this variable, where lactations longer than 27 days imply longer weaning to oestrus intervals, results that agree with those reported by other authors as [Leite \*et al.\* \(2011\)](#). On the contrary, [Tummaruk \*et al.\* \(2000\)](#) reported a decrease in the weaning to oestrus interval when lactation period is prolonged. Note that the lactation period is about 28 days long in the study from [Leite \*et al.\* \(2011\)](#), whereas in [Tummaruk \*et al.\* \(2000\)](#) it is about 40 days, similar length to lactations analyzed in the present study.

## **5. Conclusion**

In this study we considered some reproduction traits not commonly reported for outdoor systems previously. They were significantly affected by both environmental and genetic effects. Seasonal effects were identified in piglets' weights at birth and weaning and time from weaning to conception; indications were also found of increased longevity, exhibiting a sustained production to advanced ages. The spring effect of heavier piglets at birth and at weaning, at least allows us to pose the question for further investigations, on whether or not our grazing-based system is accomplishing the nutrient requirements of the herd all over the year. Particularly original with respect to earlier studies are the

aspects referred to the use of animal resources, where a local breed, the Pampa Rocha, has been compared with a known international breed such as the Duroc, and found competitive, particularly as a crossbred dam, due to the presence of important heterosis in litter traits. Heritability estimates obtained for the reproduction traits were low, but still show additive genetic variation that could be exploited for both conservation and selection purposes.

## **6. References**

Akdag, F., Arslan, S., Dimir, H. 2009. The effect of parity and litter size on birth weight and the effect of birth weight variations on weaning weight and pre-weaning survival in piglet. *J. Anim. Vet. Adv.*, 8 (11): 2133 – 2138.

Bates, D., Maechler, M., Bolker, B. 2012. *lme4: Linear mixed-effects models using S4 classes*. R package version 0.999999-0.

<http://CRAN.R-project.org/package=lme4>

Bates, D., Vazquez, A. I. 2009. *pedigreemm: Pedigree-based mixed-effects models*. R package version 0.2-4.

<http://CRAN.R-project.org/package=pedigreemm>

Bee, G. 2004. Effect of early gestation feeding, birth weight, and gender of progeny on muscle fiber characteristics of pigs at slaughter. *J. Anim. Sci.*, 82: 826 – 836.

Benítez, W., Sánchez, M.D. 2001. Conclusiones y recomendaciones sobre necesidades de investigación y desarrollo. In: Benítez W, Sánchez M. (Eds.)

Los cerdos locales en los sistemas tradicionales de producción. Roma: FAO. Serie Estudios FAO Producción y Sanidad Animal. 212 pp.

Bereskin, B., Shelby, C.E., Rowe, K.E., Urban Jr., W.E., Blunn, C.T., Chapman, A.B., Garwood, V.A., Hazel, L.N., Lasley, J.F., Magee, W.T., Mccarty, J.W., Whatley Jr., J.A. 1968. Inbreeding and swine productivity traits. *J. Anim. Sci.*, 27: 339 – 350.

Braun, R.O., Cervellini, J.E., Muñoz, M.V. 2008. Efecto de la protección ambiental estival sobre la productividad de cerdas al aire libre. *Rev. Arg. Prod. Anim.*, 28 (3): 209 – 215.

Buitrago, J.A., Maner, I.J.H., Gallo, J.T., Pond, W.G. 1974. Effect of dietary energy ingestion on reproductive performance of gilts. *J. Anim. Sci.*, 39 (1): 47 – 52.

Campos, P.H.R.F., Silva, B.A.N., Donzele, J.L., Oliveira, R.F.M., Knol, E.F. 2012. Effects of sow nutrition during gestation on within litter birth weight variation: a review. *Animal*, 6 (5):797 – 806.

Cavalcante-Neto, A., Lui, J.F., Rocha Sarmiento, J.L., Ribeiro, M.N., Costa Monteiro, J.M., Tonhati, H. 2008. Fatores ambientais e estimativa de herdabilidade para o intervalo desmame- cio de fêmeas suínas. *Rev. Bras. Zoot.*, 37 (11): 1953 – 1958.

Čechová, M. 2006. Analysis of some factors influencing the birth weight of piglets. *Slovak J. Anim. Sci.*, 39 (3): 139 – 144.

- Chansomboon, C., Elzo, M.A., Suwanasopee, T., Koonawootrittriron, S. 2010. Estimation of genetic parameters and trends for weaning-to-first service interval and litter traits in a commercial Landrace-Large White Swine population in northern Thailand. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 23 (5): 543 – 555.
- Chen, P., Baas, T.J., Mabry, J.W., Koehler, K.J., Dekkers, J.C.M. 2003. Genetic parameters and trends for litter traits in U.S. Yorkshire, Duroc, Hampshire and Landrace pigs. *J. Anim. Sci.*, 81: 46 – 53.
- Corral, J.M., Izquierdo, M., Bazán, J., Ayuso, D., Carolino, N., Gama, L.T., Padilla, J.A. 2010. Genetic parameters for direct and maternal effects on litter size and weight traits of Iberian pigs. In: *World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (9<sup>o</sup>, 2010, Leipzig, Alemania)*. Proceedings. Leipzig. German Society for Animal Science.
- Dobao, M.T., Rodrigañez, J., Silió, L. 1983. Seasonal influence on fecundity and litter performance characteristics in Iberian pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 10 (6): 601 – 610.
- Einarsson, S., Brandt, Y., Lundeheim, N., Madej, A. 2008. Stress and its influence on reproduction in pigs: a review. *Acta Vet. Scand.*, 50: 48.  
doi:10.1186/1751-0147-50-48.
- Fernández, A., Rodrigañez, J., Zuzúarregui, J., Rodríguez, M.C., Silió, L. 2008. Genetic parameters for litter size and weight at different parities in Iberian pigs. *Span. J. Agric. Res.*, 6 (Special issue J. M. Malpica), 00 – 00.

- Fox, J., Weisberg, S. 2011. An {R} Companion to Applied Regression, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL:  
<http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Fuentes, A., Argenti, P., Chang, A., Semidey de, S.G., Palma, J., Rivas, A., Soler, L. 2000. Efecto de la época y número de lechones al destete sobre la respuesta reproductiva en cerdas. *Zoot. Trop.*, 18 (3): 313 – 322.
- Gaugler, H.R., Buchanan, D.S., Hintz, R.L., Johnson, R.K. 1984. Sow productivity comparisons for four breed of swine: purebred and crossbred litters. *J. Anim. Sci.*, 59 (4): 941 – 947.
- Gourdine, J.L., Quesnel, H., Bidanel, J-P., Renaudeau, D. 2006. Effect of season, parity and lactation on reproductive performance of sows in a tropical humid climate. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 19 (8): 1111 – 1119.
- Gutiérrez, J.P., Goyache, F. 2005. A note on ENDOG: a computer program for analysing pedigree information. *J. Anim. Breed. Genet.*, 122: 172 – 176.
- Holanda, M.C.R., Barbosa, S.B.P., Sampaio, I.B.M., Santos, E.S., Santoro, K.R. 2005. Tamanho da leitegada e pesos médios, ao nascer e aos 21 dias de idade, de leitões da raça Large White. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 57 (4): 539 – 544.
- Iida R, Koketsu Y. 2013. Interactions between climatic and production factors on returns of female pigs to service during summer in Japanese commercial breeding herds (In press). *Theriogenology*, xxx: 1 – 7.

- Irgang, R., Fávero, J.A., Kennedy, B.W. 1994. Genetic parameters for litter size of different parities in Duroc, Landrace, and Large White sows. *J. Anim. Sci.*, 72: 2237 – 2246.
- Kelly, L., Clop, A., Vadell, A., Nicolini, P., Monteverde, S., Amills, N., Sánchez, A. 2004. El cerdo Pampa-Rocha como recurso zoogenético en Uruguay. Marcadores moleculares. *Veterinaria*, 39 (155-156): 15 – 16.
- Koketsu, Y., Dial, G.D. 1997. Factors influencing the postweaning reproductive performance of sows on commercial farms. *Theriogenology*, 47 (7): 1445 – 1461.
- Leite, C.D.S., Lui, J.F., Albuquerque, L.G., Alves, D.N.M. 2011. Environmental and genetic factors affecting the weaning-estrus interval in sow. *Genet. Mol. Res.*, 10 (4): 2692 – 2701.
- Lipenský, J., Lustyková, A., Čerovký, J. 2010. Effect of season on boar sperm morphology. *J. Cent. Eur. Agric.*, 11 (4): 465 – 468.
- Lo, L.L., Fernando, R.L., Grossman, M. 1993. Covariance between relatives in multibreed populations: additive model. *Theor. Appl. Genet.*, 87: 423 – 430.
- Lobo Arias, M., Medina Cano, C.I. 2009. Conservación de recursos genéticos de la agrobiodiversidad como apoyo al desarrollo de sistemas de producción sostenibles. *Rev. Corpoica – Cienc. Tecnol. Agrop.*, 10 (1): 33 – 42.

- López N, Galíndez R. 2011. Evaluación de la productividad acumulada al destete en cerdas Large White, Landrace y Cruzadas en una granja comercial. *Zoot. Trop.*, 29 (4): 445 – 453.
- Mabry, J.W., Culbertson, M.S., Reeves, D. 1996. Effects of lactation length on weaning-to-first-service interval, first-service farrowing rate, and subsequent litter size. *Swine Health Prod.*, 4 (4): 185 – 188.
- Madalena, F.E. 2001. Consideraciones sobre modelos para la predicción del desempeño de cruzamientos en bovinos. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.*, 9 (2): 108 – 117.
- Mapiye, C., Chimonyo, M., Dzama, K., Bhebhe, E. 2010. Non-genetic factors for pre-weaning performance of the Zimbabwean Mukota and Large White × Mukota crossbred pigs. In: *World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (9<sup>o</sup>, 2010, Leipzig, Alemania)*. Proceedings. Leipzig. German Society for Animal Science.
- Mauget, R., 1982. Seasonality of reproduction in the wild boar. In: Cole D J A, Foxcroft G R, (Eds), *Control of Pig Production*. Butterworth, London, pp: 509 – 526.
- Noblet, J., Close, W.H., Heavens, R.P., Brown, D. 1985. Studies on the energy metabolism of the pregnant sow. 1. Uterus and mammary tissue development. *Br. J. Nutr.*, 53 (2): 251 – 265.

Peltoniemi, O.A.T., Tast, A., Love, R.J. 2000. Factors effecting reproduction in the pig: seasonal effects and restricted feeding of the pregnant gilt and sow. *Anim. Reprod. Sci.*, 60 – 61: 173 – 184.

R Core Team. 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

Rivero, M.J., López, I.F., Hodgkinson, S.M. 2013. Pasture dry matter consumption in European wild boars (*Sus scrofa* L.) as affected by herbage allowance. *J. Anim. Sci.*, jas.2012-5289; published ahead of print February 13, 2013, doi:10.2527/jas.2012-5289.

Sai Prasanna, J., Gnana Prakash, M., Ramesh Gupta, B., Mahender, M., Srinivasa Rao, D. 2010. Factors affecting pre-weaning body weights and growth rates in crossbred pigs. *Indian J. Anim. Res.*, 44 (3) : 157 – 167.

Segura-Correa, J.C., Montes-Pérez, R.C. 2001. Razones y estrategias para la conservación de los recursos genéticos animales. *Rev. Bioméd.*, 12 (3): 196 – 206.

Silva, P., Campagna, D., Figueroa Massey, E., Suarez, R., Giovannini, F., Lomello, V., Giovannini, N., Brunori, J., Cottura, G., Franco, R., Spiner, N., Cervellini, J., Braun, R., Muñoz, M.V., Echevarria, A., Trolliet, J., Parsi, J., Faner, C., Coca, L., Sanchez, F., García, S., Barletta, F. 2011. Efecto de la época de servicio sobre la tasa de parición y lechones nacidos vivos en sistemas porcícolas a campo en Argentina. In: *Producción de*



- Cerdos a campo, aportes para el desarrollo de tecnologías apropiadas para la producción familiar. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. Pp: 129 – 132.
- Sørensen, J.T., Edwards, S., Noordhuizen, J., Gunnarsson, S. 2006. Animal production systems in the industrialised world. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 25 (2): 493 – 503.
- Thaker, M.Y.C., Bilkei, G. 2005. Lactation weight loss influences subsequent reproductive performance of sows. *Anim. Reprod. Sci.*, 88: 309 – 318.
- Tummaruk, P., Tantasuparuk, W., Techakumphu, M., Kunavongkrit, A. 2004. Effect of season and outdoor climate on litter size at birth in purebred Landrace and Yorkshire sows in Thailand. *J. Vet. Med. Sci.*, 66 (5): 477 – 482.
- Tummaruk, P., Lundeheim, N., Einarsson, S., Dalin, A.M. 2001. Effect of birth litter size, birth parity number, growth rate, backfat thickness and age at first mating of gilts on their reproductive performance as sows. *Anim. Reprod. Sci.*, 66: 225 – 237.
- Tummaruk, P., Lundeheim, N., Einarsson, S., Dalin, A.M. 2000. Factors influencing age at first mating in purebred Swedish Landrace and Swedish Yorkshire gilts. *Anim. Reprod. Sci.*, 63: 241 – 253.
- Urioste, J., Vadell, A., Barlocco, N. 2002. El cerdo Pampa-Rocha como recurso zogenético en Uruguay. Aspectos generales. In: Simposio Iberoamericano

sobre la conservación de los recursos zoogenéticos locales y el desarrollo rural sostenible (3º, 2002, Montevideo, Uruguay).

Vadell, A., Barlocco, N., Carballo, C. 2010. Prolificidad y longevidad productiva de cerdas Pampa Rocha en un sistema de producción al aire libre. *Rev. Comput. Prod. Porc.*, 17 (2): 149 – 153.

Young, L.D. 1995. Reproduction of F1 Meishan, Fengjing, Minzhu, and Duroc gilts and sows. *J. Anim. Sci.*, 73: 711 – 721.

### **3. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES**

Los cerdos están presentes en un tercio de los establecimientos agropecuarios del país, aunque en algo más del 30% de dichos establecimientos la producción tiene destino comercial. Si bien es un rubro que aparece como secundario en la mayoría de los establecimientos que lo realizan, se ubica en cuarto lugar como principal fuente de ingreso, luego de la ganadería (vacuna y ovina), la lechería y la horticultura, mientras que en casi 13000 establecimientos, la producción de cerdos tiene como destino final el consumo familiar (MGAP, 2000). En la mayoría de los establecimientos el cerdo cumple un rol reciclador de subproductos generados en otros subsistemas productivos del predio, complementando la dieta de los animales con el uso del pastoreo. De esta manera los cerdos son fuente de proteína animal de bajo costo para la familia rural, y en determinados momentos puede representar un ingreso extra dado fundamentalmente por la venta de lechones en momentos clave del año (festividades navideñas). El 84% de los productores de cerdos son de tipo familiar y se caracterizan por contar con rodeos pequeños (el 89% de las explotaciones manejan menos de 20 madres; MGAP, 2000), acaparando apenas el 20% de las existencias totales (Tommasino y Bruno, 2005). Esta predominancia de productores pequeños en el rubro hace que la especialización productiva que prevalece es la cría, comprendiendo el 77% de los productores comerciales. Esto se debe a que se trata de una actividad que tolera diferentes sistemas de alojamiento y alimentación, y a las escasas exigencias del mercado comprador de lechones (MGAP, 2006). Por otro lado, es una actividad que mayoritariamente se realiza a campo, implicando costos menores, tanto en inversiones como en capital circulante, por lo que se presenta como la opción más factible de llevar a cabo por pequeños productores (Vadell, 2005).

Existe abundante literatura acerca de los factores genéticos y ambientales que influyen el desempeño reproductivo de los cerdos. Sin embargo, la mayoría de la literatura internacional proviene de estudios de sistemas intensivos de producción y utilizando razas convencionales. A pesar que la estructura de la

base de datos utilizada en el presente trabajo presentó limitaciones para realizar ciertos análisis que resultaban de interés, el trabajo arrojó información interesante dada la escasez de información sobre el comportamiento reproductivo de cerdos en sistemas al aire libre o pastoriles, así como también la comparación de un genotipo local como el Pampa Rocha con uno convencional como el Duroc en este sistema.

Aún cuando los sistemas intensivos más avanzados logran parámetros globales superiores, los valores encontrados para todos los parámetros resultaron comparables con los reportados por varios autores para distintos sistemas de producción, tanto al aire libre como intensivos (Silva *et al.*, 2011; García González *et al.*, 2011; Galíndez, 2010; Akdag *et al.*, 2009; Braun *et al.*, 2008).

Si bien era esperable encontrar que la raza convencional superara a la raza local en su desempeño reproductivo, estas diferencias solo pudieron comprobarse estadísticamente para el número de lechones nacidos vivos y destetados, pero no se observaron diferencias en el peso de los lechones o en las demás variables estudiadas. Estos resultados contrastan con los reportados por Monteverde (2001) quien observó mayores pesos a los 21 días en los lechones de madres Pampa Rocha frente a las Duroc. Por otra parte, las cerdas híbridas fueron superiores a ambos genotipos puros en el número de lechones nacidos vivos y destetados, efecto de heterosis sobre la prolificidad que resulta coincidente con lo reportado por diversos autores (García-Casco *et al.*, 2012; Nwakpu y Ugwu, 2009; Cassady *et al.*, 2002). Por otro lado, el sistema a campo somete a los animales a una mayor influencia ambiental que lo que ocurre con los sistemas intensivos controlados. En ese sentido era dable esperar que las estimaciones de los parámetros genéticos sobre los caracteres reproductivos resultaran más bajas, sin embargo, si bien están en el entorno de lo esperado, resultaron superiores a lo reportado en la literatura (Corral *et al.*, 2010; Chansomboon *et al.*, 2010; Cavalcante-Neto *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2003). Este trabajo demostró que el genotipo local, sin planes de mejoramiento genéticos conocidos, no presentó una gran desventaja en comparación con un genotipo que ha sido objeto de mejora

genética durante años. Por otro lado, existe importante variabilidad genética que permitiría pensar no solo en la conservación del recurso local, sino eventualmente en su incorporación en programas de mejoramiento genético.

La época del año afectó aquellas relacionadas al peso, tanto al nacer como al destete. Del mismo modo, el intervalo destete-celo fecundante también fue afectado por la época del año. Los mayores pesos promedio de los lechones al nacimiento se obtuvieron cuando el último tercio de la gestación (momento en el que se define el peso de los lechones; [Campos \*et al.\*, 2012](#); [Noblet \*et al.\*, 1985](#); [Buitrago \*et al.\*, 1974](#)) ocurre a finales del invierno y primavera. Del mismo modo, los mayores pesos al destete se observaron de partos de finales de invierno y principios de primavera. En ambos casos esto coincide con el momento del año en el que ocurre la mayor disponibilidad y calidad de pasturas, lo que aunado a las temperaturas templadas de la época favorecerían un mayor consumo y aprovechamiento del forraje, determinando los mayores pesos obtenidos en esa época. Estos resultados podrían estar indicando una posible incidencia del sistema pastoril sobre estas variables. Por otro lado, el retraso en lograr la preñez que se observó durante los meses de verano en el presente estudio da cuenta de un posible vestigio de estacionalidad reproductiva. Si bien estos resultados discrepan con literatura local ([Alesandri \*et al.\*, 2010](#)), son coincidentes con la literatura regional ([Silva \*et al.\*, 2011](#)) e internacional ([Schwarz \*et al.\*, 2009](#); [Tantasuparuk \*et al.\*, 2000](#)). Las altas temperaturas (con el efecto agregado de disminuir el apetito) y radiación solar han sido responsabilizadas como los factores más importantes que determinan la infertilidad de la cerda en verano ([Einarsson \*et al.\*, 2008](#); [Peltoniemi \*et al.\*, 2000](#)), pero también es la época del año en la que la producción de forraje es mínima y de peor calidad. En este sentido, falta información que permita identificar cuanto contribuye la temperatura, la disminución de la cantidad y calidad de la pastura, o la memoria genética de la especie, para poder sugerir alternativas que disminuyan el impacto del verano sobre esta variable. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en los sistemas de producción intensivos, donde la alimentación se mantiene más uniforme que en los pastoriles y donde las cerdas tienen amortiguados los cambios ambientales,

también se registra un alargamiento del intervalo destete-concepción en los meses de verano.

En conclusión, este estudio ha examinado algunos rasgos de la reproducción que no han sido comúnmente reportados previamente para los sistemas al aire libre con base pastoril. Un hallazgo importante es que las variables de la camada afectadas por el ambiente estacional fueron las relacionadas con el peso y no las relativas al tamaño. Éstas últimas fueron sin embargo, las únicas variables en las que se encontró un claro efecto del genotipo, donde la raza convencional mostró una superioridad sobre la local, y donde el uso de cruzamientos entre ambos genotipos resulta una vía para mejorar los parámetros reproductivos en este sistema. Por otro lado, el efecto encontrado en el peso de los lechones al nacer y al destete en la primavera, al menos permite plantear una interrogante para futuras investigaciones sobre la premisa del rol de ofrecer un alimento permanente que recae sobre la pastura, y cuestiona si nuestro sistema con base pastoril está cumpliendo con los requerimientos nutricionales del rodeo durante todo el año. En este sentido, son necesarios estudios que permitan establecer claramente las causas de estas alteraciones en la eficiencia reproductiva del sistema, de manera de formular soluciones que permitan mitigar el efecto.

#### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akdag F, Arslan S, Dimir H. 2009. The effect of parity and litter size on birth weight and the effect of birth weight variations on weaning weight and pre-weaning survival in piglet. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8 (11): 2133 – 2138.
- Alesandri D, Carballo C, Barlocco N, Priore E, 2010. Efecto de la época del año sobre el intervalo destete – servicio fecundante en cerdas en un sistema de cría a campo. *Revista Computarizada en Producción Porcina*, 17 (2): 137 – 139.
- Armstrong JD, Britt JH, Cox NM. 1986. Seasonal differences in function of the hypothalamic-hypophysial-ovarian axis in weaned primiparous sows. *Journals of Reproduction & Fertility*, 78: 11 – 20.
- Auvigne V, Leneveu P, Jehannin C, Peltoniemi O, Salle E. 2010. Seasonal infertility in sows: A five year field study to analyze the relative roles of heat stress and photoperiod. *Theriogenology*, 74: 60 – 66.
- Barlocco N, Carballo C, Bell W, Vadell A. 2009. Comportamiento reproductivo de cerdas Pampa Rocha y su cruzamiento con Duroc en condiciones de pastoreo permanente. *Agrociencia, Volumen especial Seminario de Producción Animal Limpia, Verde y Ética*, 13 (3): 82.
- Barlocco N. 2007. Desarrollo de tecnologías basadas en procesos agroecológicos: una alternativa para la producción familiar. En: *Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos*. (9º, 2007, Montevideo, Uruguay). *Sistemas de producción de cerdos apropiados para la producción familiar*. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. Pp: 57 – 61.
- Bates D, Maechler M, Bolker B. 2012. lme4: Linear mixed-effects models using S4 classes. R package version 0.999999-0.  
<http://CRAN.R-project.org/package=lme4>

- Bates D, Vazquez A I. 2009. pedigreeemm: Pedigree-based mixed-effects models. R package version 0.2-4.  
<http://CRAN.R-project.org/package=pedigreeemm>
- Bee G. 2004. Effect of early gestation feeding, birth weight, and gender of progeny on muscle fiber characteristics of pigs at slaughter. *Journal of Animal Science*, 82: 826 – 836.
- Benítez W, Sánchez MD. 2001. Conclusiones y recomendaciones sobre necesidades de investigación y desarrollo. En: Benítez W, Sánchez M. (Eds.) *Los cerdos locales en los sistemas tradicionales de producción*. Roma: FAO. Serie Estudios FAO Producción y Sanidad Animal. 212 pp.
- Bereskin B, Shelby CE, Rowe KE, Urban Jr. WE, Blunn CT, Chapman AB, Garwood VA, Hazel LN, Lasley JF, Magee WT, Mccarty JW, Whatley Jr. JA. 1968. Inbreeding and swine productivity traits. *Journal of Animal Science*, 27: 339 – 350.
- Bittman EL, Kaynard AH, Olster DH, Robinson JE, Yellon SM, Karsch FJ. 1985. Pineal melatonin mediates photoperiodic control of pulsatile luteinizing hormone secretion in the ewe. *Neuroendocrinology*, 40: 409 – 418.
- Braun RO, Cervellini JE, Muñoz MV. 2008. Efecto de la protección ambiental estival sobre la productividad de cerdas al aire libre. *Revista Argentina de Producción Animal*, 28 (3): 209 – 215.
- Buitrago JA, Maner IJH, Gallo JT, Pond WG. 1974. Effect of dietary energy ingestion on reproductive performance of gilts. *Journal of Animal Science*, 39 (1): 47 – 52.
- Campos PHRF, Silva BAN, Donzele JL, Oliveira RFM, Knol EF. 2012. Effects of sow nutrition during gestation on within litter birth weight variation: a review. *Animal*, 6 (5):797 – 806.



- Carballo CS, Barlocco N, Priore E. 2010. Recría de cerdos en condiciones pastoriles. Comportamiento de cerdos Pampa-Rocha en pureza racial y en cruzamientos en dos períodos. *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 17 (2): 144 – 148.
- Carrau F, Noya R, Obregón P. 1989. Factores que afectan la productividad de las cerdas en los criaderos de Facultad de Agronomía y La Carolina. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 77 pp.
- Cassady JP, Young LD, Leymaster KA. 2002. Heterosis and recombination effects on pig reproductive traits. *Journal of Animal Science*, 80: 2303 – 2315.
- Cavalcante-Neto A, Lui JF, Sarmiento JLR, Ribeiro MN, Monteiro JM C, Fonseca C, Tonhati H. 2009. Efeitos genéticos e não-genéticos sobre o intervalo de parto em fêmeas suínas no Sudeste do Brasil. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 61 (1): 280 – 285.
- Cavalcante-Neto A, Lui JF, Rocha Sarmiento JL, Ribeiro MN, Costa Monteiro JM, Tonhati H. 2008. Fatores ambientais e estimativa de herdabilidade para o intervalo desmame- cio de fêmeas suínas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37 (11): 1953 – 1958.
- Čechová M. 2006. Analysis of some factors influencing the birth weight of piglets. *Slovak Journal of Animal Science*, 39 (3): 139 – 144.
- Černe F. 1987. Infertility problem during summer months in Large Swine Units in Yugoslavia. En: Seren and Mattioli. Definition of the summer infertility problem in the pig. Luxembourg. Office for Official Publications of the European Communities. Pp: 29 – 31.
- Chansomboon C, Elzo MA, Suwanasopee T, Koonawootrittriron S. 2010. Estimation of genetic parameters and trends for weaning-to-first service interval and litter traits in a commercial Landrace-Large White Swine population in northern Thailand. *Asian- Australasian Journal of Animal Science*, 23 (5): 543 – 555.

- Chen P, Baas TJ, Mabry JW, Koehler KJ, Dekkers JCM. 2003. Genetic parameters and trends for litter traits in U.S. Yorkshire, Duroc, Hampshire and Landrace pigs. *Journal of Animal Science*, 81: 46 – 53.
- Christenson RK. 1986. Swine management to increase gilt reproductive efficiency. *Journal of Animal Science*, 63: 1280 – 1287.
- Chokoe TC, Siebrits FK. 2009. Effects of season and regulated photoperiod on the reproductive performance of sows. *South African Journal of Animal Science*, 39 (1): 45 – 54.
- Corral JM, Izquierdo M, Bazán J, Ayuso D, Carolino N, Gama LT, Padilla JA. 2010. Genetic parameters for direct and maternal effects on litter size and weight traits of Iberian pigs. En: *World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (9º, 2010, Leipzig, Alemania)*. Proceedings. Leipzig. German Society for Animal Science.
- Dalmas D, Primo P. 2004. Tamaño de camada y mortalidad en lactancia en un sistema de producción de cerdos a campo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 86 pp.
- Díaz S. 2008. Sistemas de producción de cerdos: Estudio para mejorar la articulación entre la oferta y la demanda por tecnologías para la cría de cerdos. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 97 pp.
- Dobao MT, Rodrigañez J, Silió L. 1983. Seasonal influence on fecundity and litter performance characteristics in Iberian pigs. *Livestock Production Science*, 10 (6): 601 – 610.
- Echenique A, Urioste JI. 1996. Causas de variación en la prolificidad de la cerda. En: *Congreso Uruguayo de Producción Animal (1º, 1996, Montevideo, Uruguay)*.

- Einarsson S, Brandt Y, Lundeheim N, Madej A. 2008. Stress and its influence on reproduction in pigs: a review. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50: 48. doi:10.1186/1751-0147-50-48.
- Farkas J, Curik I, Csató L, Csörnyei Z, Baumung R, Nagy I. 2007. Bayesian inference of inbreeding effects on litter size and gestation length in Hungarian Landrace and Hungarian Large White pigs. *Livestock Science*, 112: 109 – 114.
- Fernández A, Rodrigáñez J, Zuzúarregui J, Rodríguez MC, Silió L. 2008. Genetic parameters for litter size and weight at different parities in Iberian pigs. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6 (Special issue J. M. Malpica), 00 – 00.
- Fox J, Weisberg S. 2011. An {R} Companion to Applied Regression, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Fuentes A, Argenti P, Chang A, Semidey de S G, Palma J, Rivas A, Soler L. 2000. Efecto de la época y número de lechones al destete sobre la respuesta reproductiva en cerdas. *Zootecnia Tropical*, 18 (3): 313 – 322.
- Galíndez R. 2010. Factores que influyen en la sobrevivencia de cerditos al nacimiento y al destete. *Revista Computarizada en Producción Porcina* 17 (3): 185 – 196.
- García-Casco JM, Fernández A, Rodríguez MC, Silió L. 2012. Heterosis for litter size and growth in crosses of four strains of Iberian pig. *Livestock Science*, 147: 1 – 8.
- García González JS, Herradora Lozano MA, Martínez Gamba RG. 2011. Efecto del número de parto de la cerda, la caseta de parición, el tamaño de la camada y el peso al nacer en las principales causas de mortalidad en lechones. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2 (4): 403 – 414.

- Gaugler HR, Buchanan DS, Hintz RL, Johnson RK. 1984. Sow productivity comparisons for four breed of swine: purebred and crossbred litters. *Journal of Animal Science*, 59 (4): 941 – 947.
- Gil MJ, Urioste JI. 2000. Variación en el tamaño de camada a lo largo de la lactancia en una base nacional de datos porcinos. En: Reunión Latinoamericana de Producción Animal (16<sup>a</sup>, 2000, Montevideo, Uruguay).
- Gómez Medina M, Segura-Correa JC, Rodríguez-Buenfil JC. 1999. Efecto de año, bimestre y número de parto de la cerda en el tamaño y peso de la camada al nacer y al destete en una granja comercial. *Revista Biomédica*, 10: 23 – 28.
- Gourdine JL, Quesnel H, Bidanel J-P, Renaudeau D. 2006. Effect of season, parity and lactation on reproductive performance of sows in a tropical humid climate. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 19 (8): 1111 – 1119.
- Greer EB. 1986. Photoperiod and seasonal infertility in the pig and the potential of exogenous melatonin as a preventive: A review. *Proceedings of Australian Society of Animal Production*, 16 : 219 – 222.
- Gutiérrez JP, Goyache F. 2005. A note on ENDOG: a computer program for analysing pedigree information. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 122: 172 – 176.
- Haley CS, Lee GJ. 1993. Genetic basis of prolificacy in Meishan pigs. *Journals of Reproduction & Fertility Supplement*, 48: 247 – 259.
- Hälli O. 2008. Effect of environment and management on reproductive efficiency of sows, with special emphasis on control of seasonal infertility. Ph D Thesis. Faculty of Veterinary Medicine, University of Helsinki, Finland. 41 pp.

- Hälli O, Peltoniemi OAT, Tast A, Virolainen JV, Munsterhjelm C, Valros A, Heinonen M. 2008. Photoperiod and luteinizing hormone secretion in domestic and wild pigs. *Animal Reproduction Science*, 103 (1): 99 – 106.
- Hennessy DP, Williamson PE. 1984. Stress and summer infertility in pigs. *Australian Veterinary Journal*, 61 (7): 212 – 215.
- Holanda MCR, Barbosa SBP, Sampaio IBM, Santos ES, Santoro KR. 2005. Tamanho da leitegada e pesos médios, ao nascer e aos 21 dias de idade, de leitões da raça Large White. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 57 (4): 539 – 544.
- Iida R, Koketsu Y. 2013. Interactions between climatic and production factors on returns of female pigs to service during summer in Japanese commercial breeding herds (In press). *Theriogenology*, xxx: 1 – 7.
- Irgang R, Fávero JA, Kennedy, BW. 1994. Genetic parameters for litter size of different parities in Duroc, Landrace, and Large White sows. *Journal of Animal Science*, 72: 2237 – 2246.
- Karvelienė B, Šernienė L, Riškevičienė V. 2008. Effect of different factors on weaning-to-first-service interval in Lithuanian pig herds. *Veterinarija Ir Zootechnika*, 41 (63): 64 – 69.
- Kelly L, Clop A, Vadel A, Nicolini P, Monteverde S, Amills N, Sánchez A. 2004. El cerdo Pampa-Rocha como recurso zoogenético en Uruguay. Marcadores moleculares. *Veterinaria*, 39 (155-156): 15 – 16.
- Köck A, Fürst-Waltl B, Baumung R. 2009. Effects of inbreeding on number of piglets born total, born alive and weaned in Austrian Large White and Landrace pigs. *Archiv Tierzucht*, 52 (1): 51 – 64.
- Koketsu Y, Dial GD. 1997. Factors influencing the postweaning reproductive performance of sows on commercial farms. *Theriogenology*, 47 (7): 1445 – 1461.

- Leite CDS, Lui JF, Albuquerque LG, Alves DNM. 2011. Environmental and genetic factors affecting the weaning-estrus interval in sow. *Genetics and Molecular Research*, 10 (4): 2692 – 2701.
- Lincoln GA, Almeida OFX, Klandorf H, Cunningham RA. 1982. Hourly fluctuations in blood levels of melatonin, prolactin, luteinizing hormone, follicle-stimulating hormone, testosterone, tri-iodothyronine, thyroxine and cortisol in rams under artificial photoperiod, and the effects of cranial sympathectomy. *Journal of Endocrinology*, 92: 237 – 250.
- Lipenský J, Lustyková A, Čeřovký J. 2010. Effect of season on boar sperm morphology. *Journal of Central European Agriculture*, 11 (4): 465 – 468.
- Lo LL, Fernando RL, Grossman M. 1993. Covariance between relatives in multibreed populations: additive model. *Theor Appl Genet*, 87: 423 – 430.
- Lobo Arias M, Medina Cano CI. 2009. Conservación de recursos genéticos de la agrobiodiversidad como apoyo al desarrollo de sistemas de producción sostenibles. *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10 (1): 33 – 42.
- López N, Galíndez R. 2011. Evaluación de la productividad acumulada al destete en cerdas Large White, Landrace y Cruzadas en una granja comercial. *Zootecnia Tropical*, 29 (4): 445 – 453.
- Love RJ. 1978. Definition of a seasonal infertility problem in pigs. *Veterinary Records*, 103 (20): 443 – 446.
- Mabry JW, Culbertson MS, Reeves D. 1996. Effects of lactation length on weaning-to-first-service interval, first-service farrowing rate, and subsequent litter size. *Swine Health and Production* 4 (4 ): 185 – 188.
- Madalena FE. 2001. Consideraciones sobre modelos para la predicción del desempeño de cruzamientos en bovinos. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 9 (2): 108 – 117.

- Mapiye C, Chimonyo M, Dzama K, Bhebhe E. 2010. Non-genetic factors for pre-weaning performance of the Zimbabwean Mukota and Large White × Mukota crossbred pigs. En: World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (9<sup>o</sup>, 2010, Leipzig, Alemania). Proceedings. Leipzig. German Society for Animal Science.
- Martínez RG. 1998. Principales factores que afectan la reproducción en el cerdo. *Ciencia Veterinaria*, 8: 187 – 222.
- Mauget R. 1982. Seasonality of reproduction in the wild boar. En: Cole D J A, Foxcroft G R, (Eds), *Control of Pig Production*. Butterworth, London, pp: 509 – 526.
- Milligan BN, Fraser D, Kramer DL. 2002. Within-litter birth weight variation in the domestic pig and its relation to pre-weaning survival, weight gain, and variation in weaning weights. *Livestock Production Science*, 76: 181 – 191.
- MGAP. 2006. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Encuesta porcina 2006, caracterización de la situación productiva, tecnológica, comercial y social del sector porcino (FPTA- 170). Montevideo, Uruguay. 75 pp.
- MGAP. 2000. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Estadísticas Agropecuarias (MGAP - DIEA). Sistema de Información del Censo General Agropecuario (SICA), versión 2.0. Montevideo, Uruguay.
- Monteverde S. 2001. Producción de leche de cerdas criollas Pampa y Duroc en un sistema a campo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 57 pp.
- Motta A. 1991. Evaluación de los efectos de la estación y del tipo de servicio sobre la eficiencia reproductiva en una granja porcina del sur del país. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 104 pp.
- Noblet J, Close WH, Heavens RP, Brown D. 1985. Studies on the energy metabolism of the pregnant sow. 1. Uterus and mammary tissue development. *British Journal of Nutrition*, 53 (2): 251 – 265.

- Nwakpu PE, Ugwu SOC. 2009. Heterosis for litter traits in native by exotic inbred pig crosses. *Journal of Tropical Agriculture, Food, Environment and Extension*, 8 (1): 31 – 37.
- Paterson AM, Barker I, Lindsay DR. 1978. Summer infertility in pigs: its incidence and characteristics in an Australian commercial piggery. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 18 (94): 698 – 701.
- Peltoniemi OAT, Tast A, Love RJ. 2000. Factors effecting reproduction in the pig: seasonal effects and restricted feeding of the pregnant gilt and sow. *Animal Reproduction Science*, 60 – 61: 173 – 184.
- Peltoniemi OAT, Love RJ, Heinonen M, Tuovinen V, Saloniemi H. 1999. Seasonal and management effects on fertility of the sow: a descriptive study. *Animal Reproduction Science*, 55: 47 – 61.
- Peltoniemi OAT, Love RJ, Klupiec C, Evans G. 1997. Effect of feed restriction and season on LH and prolactin secretion, adrenal response, insulin and FFA in group housed pregnant gilts. *Animal Reproduction Science*, 49 (2): 179 – 190.
- Perestrelo Vieira H, Perestrelo Vieira R. 1987. Seasonal infertility in Portuguese intensive pig herds. En: Seren and Mattioli. *Definition of the summer infertility problem in the pig*. Luxembourg. Office for Official Publications of the European Communities. Pp: 19 – 23.
- Prunier A, Quesnela H, Messias de Bragança M, Kermabon AY. 1996. Environmental and seasonal influences on the return-to-oestrus after weaning in primiparous sows: a review. *Livestock Production Science*, 45 (2–3): 103 – 110.
- R Core Team. 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.



- Rivero MJ, López IF, Hodgkinson SM. 2013. Pasture dry matter consumption in European wild boars (*Sus scrofa* L.) as affected by herbage allowance. *Journal of Animal Science*, jas.2012-5289; published ahead of print February 13, 2013, doi:10.2527/jas.2012-5289.
- Rothschild MF. 1996. Genetics and reproduction in the pig. *Animal Reproduction Science*, 42: 143 – 151.
- Sai Prasanna J, Gnana Prakash M, Ramesh Gupta B, Mahender M, Srinivasa Rao D. 2010. Factors affecting pre-weaning body weights and growth rates in crossbred pigs. *Indian Journal of Animal Research*, 44 (3) : 157 – 167.
- Santos Ricalde RH, Lean IJ. 2000. The effect of tropical ambient temperature on productive performance and grazing behaviour of sows kept in an outdoor system. *Livestock Research for Rural Development* 12 (2): <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd12/2/sant122.htm>
- Schwarz T, Nowicki J, Tuz R. 2009. Reproductive performance of Polish Large White sows in intensive production – Effect of parity and season. *Annals of Animal Science*, 9 (3): 269 – 277.
- Segura-Correa JC, Montes-Pérez RC. 2001. Razones y estrategias para la conservación de los recursos genéticos animales. *Revista Biomédica*, 12 (3): 196 – 206.
- Silva P, Campagna D, Figueroa Massey E, Suarez R, Giovannini F, Lomello V, Giovannini N, Brunori J, Cottura G, Franco R, Spiner N, Cervellini J, Braun R, Muñoz MV, Echevarria A, Trolliet J, Parsi J, Faner C, Coca L, Sanchez F, Garcia S, Barletta F. 2011. Efecto de la época de servicio sobre la tasa de parición y lechones nacidos vivos en sistemas porcícolas a campo en Argentina. En: *Producción de Cerdos a campo, aportes para el desarrollo de tecnologías apropiadas para la producción familiar*. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. Pp: 129 – 132.

- Sørensen JT, Edwards S, Noordhuizen J, Gunnarsson S. 2006. Animal production systems in the industrialised world. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 25 (2): 493 – 503. 88.
- Suriyasomboon A, Lundeheim N, Kunavongkrit A, Einarsson S. 2006. Effect of temperature and humidity on reproductive performance of crossbred sows in Thailand. *Theriogenology*, 65: 606 – 628.
- Thaker MYC, Bilkei G. 2005. Lactation weight loss influences subsequent reproductive performance of sows. *Animal Reproduction Science*, 88: 309 – 318.
- Tantasuparuk W, Lundeheim N, Dahn AM, Kunavongkrit A, Einarsson S. 2000. Reproductive performance of purebred Landrace and Yorkshire sows in Thailand with special reference to seasonal influence and parity number. *Theriogenology*, 54: 461 – 496.
- Tommasino H, Bruno Y. 2005. Algunos elementos para la definición de productores familiares, medios y grandes. En: Anuario 2005 de la Oficina de Programación y Política Agropecuaria (OPYPA), MGAP. Consultado el 17 de junio de 2013. Disponible en:  
<http://www.mgap.gub.uy/gxpfiles/mgap/content/audio/source0000000088/AUD0000070000000815.zip>
- Tummaruk P, Tantasuparuk W, Techakumphu M, Kunavongkrit A. 2004. Effect of season and outdoor climate on litter size at birth in purebred Landrace and Yorkshire sows in Thailand. *Journal of Veterinary Medical Science*, 66 (5): 477 – 482.
- Tummaruk P, Lundeheim N, Einarsson S, Dalin AM. 2001. Effect of birth litter size, birth parity number, growth rate, backfat thickness and age at first mating of gilts on their reproductive performance as sows. *Animal Reproduction Science*, 66: 225 – 237.

- Tummaruk P, Lundeheim N, Einarsson S, Dalin AM. 2000. Factors influencing age at first mating in purebred Swedish Landrace and Swedish Yorkshire gilts. *Animal Reproduction Science* 63: 241 – 253.
- Urioste J, Vadell A, Barlocco N. 2002. El cerdo Pampa-Rocha como recurso zoogenético en Uruguay. Aspectos generales. En: Simposio Iberoamericano sobre la conservación de los recursos zoogenéticos locales y el desarrollo rural sostenible (3°, 2002, Montevideo, Uruguay).
- Vadell A, Barlocco N, Carballo C. 2010. Prolificidad y longevidad productiva de cerdas Pampa Rocha en un sistema de producción al aire libre. *Revista Computarizada en Producción Porcina*, 17 (2): 149 – 153.
- Vadell A. 2008. Una reseña corta sobre la raza criolla de cerdos Pampa Rocha y su utilización en Uruguay. *Revista Computarizada en Producción Porcina*, 15 (2): 105 – 112.
- Vadell A. 2005. La producción de cerdos al aire libre en Uruguay. En: Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos (8°, 2005, Guanare, Venezuela). Sistemas integrados de producción con no rumiantes. Guanare, Venezuela. UNELLEZ, pp: 4.
- Vadell A. 1999. Producción de cerdos a campo en un sistema de mínimos costos. En: Encuentro de Nutrición y Producción de Animales Monogástricos (5°, 1999, Maracay, Venezuela).
- Vadell A, Barlocco N, Franco J, Monteverde S. 1997. Evaluación de una dieta restringida en gestación en cerdas de Pampa-Rocha sobre pastoreo permanente. En: Congreso Uruguayo de Producción Animal (2°, 1997, Paysandú, Uruguay).
- Vogrin Bračić M, Škorjanc D. 2008. Factors influencing on post-weaning performance of primiparous and multiparous sows: a review. *Agricultura*, 6: 5 – 12.

- White BR, McLaren DG, Dziuk PJ, Wheeler MB. 1993. Age at puberty, ovulation rate, uterine length, prenatal survival and litter size in Chinese Meishan and Yorkshire females. *Theriogenology*, 40: 85 – 97.
- Williams AM, Safranski TJ, Spiers DE, Eichen PA, Coate EA, Lucy MC. 2013. Effects of a controlled heat stress during late gestation, lactation, and after weaning on thermoregulation, metabolism, and reproduction of primiparous sows. *Journal of Animal Science*, 91: 2700 – 2714.
- Xue JL, Dial GD, Marsh WE, Davies PR. 1994. Multiple manifestations of season on reproductive performance of commercial swine. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 204: 1486 – 1489.
- Young LD. 1995. Reproduction of F1 Meishan, Fengjing, Minzhu, and Duroc gilts and sows. *Journal of Animal Science*, 73: 711 – 721.