Universidad Autónoma de Sinaloa
Colegio de Ciencias Agropecuarias
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Maestría en Ciencias Agropecuarias

Tesis:

Peso al nacimiento, tasa de crecimiento y espesor de grasa dorsal en el desempeño de la cerda hiperprolífica al primer servicio, criada en ambiente cálido

Que para obtener el grado de Maestra en Ciencias Agropecuarias

Presenta:
Laura Francisca Espinoza Aguirre

Director de Tesis
Dr. Jesús José Portillo Loera

Co-Director de tesis
Dr. Javier Alonso Romo Rubio

Culiacán Rosales, Sinaloa, México; agosto de 2024.

Universidad Autónoma de Sinaloa

Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional Buelna

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

Dirección General de Bibliotecas
Ciudad Universitaria
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios
C.P. 80010 Culiacán Sin. Méx.
Tel (667) 713 78 32 y (667) 712 50 57
dgbuas@uas.edu.mx

DEDICATORIA

A mi maestro, Dr. Javier Alonso Romo Rubio, por apoyarme en todos los aspectos durante el proceso formativo; por su enorme paciencia y por haberme inculcado valores e inspirado en ayudar a los demás. Por su dedicación, compromiso y por ayudarme a alcanzar mis metas. Su pasión por enseñar es inspiradora.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), por el financiamiento para realizar mis estudio de Maestría y realizar este proyecto de investigación.

Al colegio de Ciencias Agropecuarias por permitirme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría.

A mis asesores: Dr. Jesús José Portillo Loera, Dr. Javier Alonso Romo Rubio, Dra. Ana Mireya Romo Valdez, Dr. Juan Manuel Romo Valdez y Dra. Soila Maribel Gaxiola Camacho, por el apoyo que me brindaron durante este proceso con sus comentarios, sugerencias y amistad.

Al propietario de la Granja porcina “La Huerta”, MC Héctor Raúl Güémez Gaxiola, así como al personal de campo, por las facilidades para realizar este proyecto de investigación.

A mis amigos y compañeros de la maestría, que estuvieron cerca de mí y apoyaron en clases.

CONTENIDO

ÍNDICE **PÁGINA**

ÍNDICE DE CUADROS III
RESUMEN IV
ABSTRACT V
I. INTRODUCCIÓN 1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 4
2.1. Importancia del manejo antes y después del nacimiento en el desempeño reproductivo de la cerda primeriza 4
2.3. Importancia de la edad a la pubertad de la cerda primeriza en los días no productivos de la piara reproductora 7
2.4. Efecto de la presencia del verraco en la presentación de la pubertad 7
2.5. Efecto de la tasa de crecimiento en la presentación de la pubertad y desempeño reproductivo posterior 8
2.6. Edad y peso para el apareamiento de la cerda primeriza 9
2.7. Condición corporal y medición del espesor de la grasa dorsal 11
2.8. Influencia de espesor de la grasa dorsal en la presentación de la pubertad en la cerda 12
2.9. Influencia del espesor de la grasa dorsal en la ciclicidad estral 14
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 18
IV. HIPÓTESIS 19
V. OBJETIVO GENERAL 20
5.1. Objetivos particulares 20
VI. MATERIAL Y MÉTODOS 21
6.1. Ubicación del área en donde se realizó el estudio 21
6.2. Manejo de las cerdas primerizas 21
6.3. Registro de la información 22
6.4. Diseño del estudio 22
6.5. Análisis estadístico 24
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 26
VIII. CONCLUSIONES 39
IX. LITERATURA CITADA 40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Titulo	Página
1	Peso al nacer de primerizas de reemplazo y su relación con la pubertad, la tasa de ovulación y la supervivencia embrionaria temprana…….	5
2	Peso promedio al nacimiento de las cerdas preseleccionadas como hembras de reemplazo…….	27
3	Influencia del peso al nacimiento en la tasa de retención de hembras primerizas a los 148 d de edad y en la tasa de servicio a los 262 y 317 d de edad……...	27
4	Influencia del peso al nacimiento en el peso prepuberal, tasa de crecimiento y espesor de grasa dorsal……..	28
5	Influencia del peso al nacimiento en el desempeño de la cerda primeriza al primer servicio…….	28
6	Influencia de la tasa de crecimiento a los 148 d y estímulo del semental en la de edad de presentación de la pubertad y edad al primer servicio en la cerda primeriza…….	31
7	Influencia de la tasa de crecimiento desde el nacimiento hasta el momento del servicio en la edad a la pubertad y al primer servicio de la cerda primeriza…….	32
8	Influencia del espesor de la grasa dorsal al momento del servicio en el desempeño de la cerda primeriza…….	34
9	Influencia del índice de temperatura y humedad durante la etapa de crecimiento (84 a 148 d de edad) en el desempeño de la cerda primeriza…….	36
10	Influencia del índice de temperatura y humedad durante la etapa de desarrollo (149 a 268 d de edad) en el desempeño de la cerda primeriza…….	36

RESUMEN

Con el objetivo de determinar la influencia del peso al nacimiento (PN), tasa de crecimiento (TC) y espesor de grasa dorsal (EGD) en el desempeño de la cerda hiperprolífica al primer servicio, criada en ambiente cálido, se realizó un estudio observacional prospectivo comparativo. Se utilizaron 680 lechonas de la línea PIC Camborough® preseleccionadas como futuras reproductoras desde el momento del nacimiento. Las lechonas fueron clasificadas en cuatro grupos de acuerdo con su PN (≤ 1.1, 1.2-1.4, 1.5-1.6 y ≥ 1.7 kg); en cuatro grupos con base en su TC desde el nacimiento hasta los 148 d de edad (≤ 0.400, 0.401-0.500, 0.501-0.600 y ≥ 0.601 kg/d); en cuatro grupos de TC desde el nacimiento hasta el momento del primer servicio (≤ 0.500, 0.501-0.600, 0.601-0.700 y ≥ 0.701 kg/d); en cuatro grupos de EGD al momento del primer servicio (≤ 10, 10.5-12.5, 13-15 y ≥ 15.5 mm), así como en tres grupos de índice de temperatura y humedad (ITH), en el que estuvieron desde los 84 a 148 d y desde los 149 a los 268 d de edad (≤ 74, > 74 < 78 y ≥ 78 < 84). Las variables de respuesta medidas fueron la tasa de selección a los 148 d de edad, edad a la pubertad y edad al primer servicio. Las frecuencias de primerizas seleccionadas a los 148 d de edad y que presentaron pubertad según el grupo de peso al nacimiento, se analizaron con la prueba de Ji cuadrada ($p \leq 0.05$). A los datos de PN, TC, EGD e ITH se les aplicó un ANDEVA ($p \leq 0.05$). Las lechonas con un PN ≤ 1.1 kg tuvieron la menor tasa de selección ($p = 0.003$) a los 148 d de edad (62.4 *vs.*75, 79.3 y 75.2 %) y una edad mayor al primer servicio (263.4 *vs.* 249.5, 251.9 y 249.4 d); el PN no influyó en la edad a la pubertad y en general la tasa de primerizas servidas dentro de los 262 d de edad fue baja (24.3%), con una tendencia ($p = 0.11$) a elevarse en las primerizas con PN ≥ 1.2 kg. Las cerdas con TC ≥ 0.501 kg/d desde el nacimiento hasta los 148 d de edad presentaron la pubertad a edad menor (213 *vs.* 229 y 237 d) y al servicio (231 *vs.* 272 y 255 d) respecto de las que tuvieron entre 0.401- 0.500 y ≤ 0.400 kg/d ($p = 0.001$). Las cerdas con TC ≤ 0.500 kg/d desde el nacimiento hasta el momento del servicio presentaron la pubertad a una edad mayor (255 *vs.* 231, 217 y 209 d; $p = 0.001$), edad mayor al servicio (309 *vs.* 263, 239 y 220 d; $p = 0.001$), respecto a aquellas con TC de 0.501- 0.600, 0.601- 0.700 y ≥ 0.701 kg/d. Las cerdas con TC ≤ 0.600 kg/d tuvieron menor EGD al momento del servicio (13 *vs.* 15 y 15.5 mm) respecto a aquellas con TC de 0.601- 0.700 y ≥ 0.701 kg/d. Las cerdas con EGD ≥ 15.5 mm al momento del servicio presentaron la pubertad a edad menor (217 *vs.* 226, 227 y 239 d; $p = 0.03$), respecto de las que tuvieron 13 - 15, 10.5 - 12.5 y ≤ 10 mm. En las primerizas que estuvieron en ITH ≥ 74 entre los 84 y 148 d de edad se observó una edad mayor a la pubertad (235 *vs.* 215 d; $p = 0.001$) y al servicio (268 *vs.* 238 d; $p = 0.001$) respecto de las que estuvieron en un ITH ≤ 74; de igual manera, las cerdas en un ITH ≥ 74 entre los 149 y 268 d de edad incrementó la edad a la pubertad (239 *vs.* 220 d; $p = 0.008$) y la edad al servicio (247 *vs.* 268 d; $p = 0.001$). Los resultados observados permiten concluir que las lechonas preseleccionadas con un PN ≤ 1.1 kg tienen una menor tasa de permanencia y de crecimiento a los 148 d de edad; las cerdas primerizas con TC menor a los 0.601 kg/d tienen menor EGD al momento del servicio y presentan la pubertad y son servidas a edad tardía. Un ITH ≥ 74 disminuye la tasa de crecimiento de las cerdas primerizas, retarda la edad a la pubertad y al servicio. Estas variables deben ser consideradas en un programa de selección y manejo de cerdas primerizas hiperprolíficas, criadas en ambientes cálidos, con el objetivo de elevar el porcentaje de primerizas servidas a una edad menor a los 240 d.

Palabras clave: Cerda primeriza, peso al nacimiento, tasa de crecimiento, espesor de grasa dorsal, ITH, pubertad.

ABSTRACT

To determine the influence of birth weight (BW), growth rate (GR) and backfat thickness (BFT) on the performance of hyperprolific gilts at first service reared in a warm environment, a prospective observational comparative study was conducted. Six hundred eighty PIC Camborough® piglets preselected as future breeders from birth were used. The piglets were classified into four groups according to their BW (≤ 1.1, 1.2 - 1.4, 1.5 - 1.6 and ≥ 1.7 kg); into four groups based on their GR from birth to 148 d of age (≤ 0.400, 0.401- 0.500, 0.501- 0.600 and ≥ 0.601 kg/d); in four GR groups from birth to first service (≤ 0.500, 0.501- 0.600, 0.601- 0.700 and ≥ 0.701 kg/d); in four BFT groups at first service (≤ 10, 10.5 - 12.5, 13 - 15 and ≥ 15.5 mm), as well as in three temperature and humidity index (THI) groups, which ranged from 84 to 148 d and from 149 to 268 d of age (< 74, > 74 < 78 and ≥78 < 84). The response variables measured were the selection rate at 148 d of age, age at puberty and age at first service. The frequencies of gilts selected at 148 d of age and that presented puberty according to the birth weight group were analyzed with the Chi-square test ($p \leq 0.05$). The BW, GR, BFT and THI data were subjected to an ANOVA ($p \leq 0.05$). Gilts with a BW ≤ 1.1 kg had the lowest ($p = 0.003$) selection rate at 148 d of age (62.4 vs. 75, 79.3 and 75.2 %) and an older age at first service (263.4 vs. 249.5, 251.9 and 249.4 d); BW did not influence age at puberty and overall the rate of gilts served within 262 d of age was low (24.3 %), with a trend ($p = 0.11$) to increase in gilts with BW ≥ 1.2 kg. Sows with GR ≥ 0.501 kg/d from birth to 148 d of age experienced puberty at an earlier age (213 vs. 229 and 237 d) and at service (231 vs. 272 and 255 d) compared to those with GR between 0.401- 0.500 and ≤ 0.400 kg/d ($p = 0.001$). Gilts with a GR ≤ 0.500 kg/d from birth to service had puberty at an older age (255 vs. 231, 217, and 209 d; $p = 0.001$) and older age at service (309 vs. 263, 239, and 220 d; $p = 0.001$), compared to those with GR of 0.501- 0.600, 0.601- 0.700 and ≥ 0.701 kg/d. Gilts with a GR ≤ 0.600 kg/d had lower BFT at service (13 vs. 15 and 15.5 mm) compared to those with GR of 0.601- 0.700 and ≥ 0.701 kg/d. Gilts with BFT ≥ 15.5 mm at service presented puberty at an earlier age (217 vs. 226, 227 and 239 d; $p = 0.03$), compared to those with 13 - 15, 10.5 - 12.5 and ≤ 10 mm. In gilts that were in THI ≥ 74 between 84 and 148 d of age, an older age at puberty (235 vs. 215 d; $p = 0.001$) and at service (268 vs. 238 d; $p = 0.001$) was observed compared to those that were in THI ≤ 74; Likewise, sows with an THI ≥ 74 between 149 and 268 d of age increased the age at puberty (239 vs. 220 d; $p = 0.008$) and the age at service (247 vs. 268 d; $p = 0.001$). The observed results allow to conclude that preselected piglets with a BW ≤ 1.1 kg have a lower permanence and growth rate at 148 d of age; first-time gilts with a GR less than 0.601 kg/d have a lower BFT at the time of service, and present puberty and are served at a late age. A THI ≥ 74 decreases the growth rate of first-time gilts, delays the age at puberty and at service. These variables should be considered in a selection and management program for hyperprolific first-time gilts, raised in warm environments, with the aim of increasing the percentage of first-time gilts served at an age less than 240 d.

Key Words: Gilt, birth weight, growth rate, backfat thickness, THI, puberty

I. INTRODUCCIÓN

El hecho de que las cerdas primerizas que ingresan al hato reproductor no produzcan al menos tres (Engblom *et al*., 2016), o incluso cinco (Gruhot *et al*., 2017), camadas representa una pérdida financiera potencial para el productor y es una preocupación importante para la industria porcina. La frecuencia de eliminación de hembras del hato es mayor en las cerdas primerizas (38.5–51.1 %) (Li *et al*., 2018) y se ha informado una alta incidencia de cerdas que solo producen una camada (Engblom *et al*., 2016). Además, se ha informado que una proporción significativa (10 a 30 %) de las cerdas primerizas que ingresan al hato reproductor nunca paren una camada (Nonneman *et al*., 2013). En la práctica, se sacrifican anualmente entre el 40 al 50 % de las cerdas del hato reproductor y se reemplazan por cerdas primerizas; por lo que, el rendimiento reproductivo de las cerdas primerizas influye en gran medida en el rendimiento reproductivo general del hato porcino (Roongsitthichai *et al*., 2013). Un área clave de mejora, es desde la entrada de las cerdas primerizas hasta el parto de la tercera camada, y en particular, una mejor gestión para reducir el número de primerizas que nunca paren una camada y son completamente improductivas (Patterson y Foxcroft, 2019). Por lo tanto, la capacidad de identificar las cerdas primerizas con mayor potencial de desempeño a lo largo de su vida es crucial para la productividad de los sistemas de producción convencionales, y la respuesta a la estimulación del verraco identifica efectivamente a las cerdas primerizas más productivas.

Se ha observado que el peso al nacimiento (PN) tiene influencia en la edad a la pubertad de la cerda y su desempeño reproductivo posterior. Los eventos clave del desarrollo de la cerda primeriza comienzan durante la última etapa de gestación y terminan 90 d después del nacimiento (Flowers, 2012); éstos, sientan las bases de una comunicación adecuada entre el cerebro y los órganos reproductivos durante la fase funcional de la vida reproductiva (Pressing *et al*., 1992; Morbeck *et al*., 1993).

Se ha observado una relación positiva entre el peso al nacer y la edad a la pubertad. Flowers (2012) observó que las primerizas con un peso al nacimiento de 1.580 *vs*. 1.100 a 1.270 kg presentaron la pubertad a edad menor (170 *vs.* 180 d), mayor tasa de ovulación (15.3 *vs*. 12.9 óvulos) y mayor tasa de sobrevivencia embrionaria (83 *vs.* 69 %); sin embargo, de Almeida *et al.* (2014) observaron, que aun cuando el peso al nacer

de las lechonas fue diferente (1013 ± 8.3, 1411 ± 5.2 y 1787 ± 7, g; $p < 0.05$), no hubo diferencia en la edad a la pubertad (185.8 ± 1.2, 184.9 ± 0.6, 183.4 ± 0.9 d; $p > 0.05$), respectivamente.

También, se han observado relaciones positivas de la tasa de crecimiento (TC) y del espesor de grasa dorsal (EGD) con el rendimiento reproductivo posterior de las cerdas primerizas (Kummer *et al*., 2006; Tummaruk *et al*., 2007); aunque, también se han observado inconsistencias (Rozeboom *et al*., 1996). El EGD es un indicador de la condición corporal de las cerdas (Kim *et al*., 2013). Se ha sugerido que las cerdas primerizas se apareen a los 240 d de edad, con peso corporal de 130 kg y EGD de 17 mm, en el segundo o tercer celo observado (Tummaruk *et al*., 2009b). En tanto que, PIC (2022) recomienda que el primer servicio de las cerdas primerizas Camborough® se realice entre los 200 a 225 d de edad, con un peso objetivo de 135 a 160 kg, con una TC entre 600 a 800 g/d, y en el segundo o tercer estro. Se ha observado que las cerdas primerizas con alto EGD (17.8 mm) alcanzan la pubertad a los 198 d de edad, mientras que aquellas con menor EGD (14.7 mm) alcanzan la pubertad a los 203 d de edad (Rydhmer, 2000).

Por otro lado, las altas temperaturas ambientales tienen efectos negativos sobre el rendimiento reproductivo de las cerdas (Bloemhof *et al*., 2013). Sin embargo, la temperatura por sí sola no describe suficientemente el entorno climático de un animal (Nardone *et al*. 2006). Dentro de la zona termoneutral la humedad relativa es insignificante, pero se convierte en un factor determinante en condiciones de estrés por calor (Huynh *et al*., 2005). El índice de temperatura y humedad (ITH) combina estas dos variables y las asocia al confort animal. Este índice es el parámetro más utilizado para predecir riesgos de estrés calórico (Gaughan *et al*., 2008). De acuerdo con Mader *et al*. (2006) el nivel de confort o estrés se expresa numéricamente de la siguiente manera: estado de confort (ITH ≤ 74), estado de alerta fisiológica (74 > ITH < 78), estado de peligro fisiológico (78 ≥ ITH < 84) y estado de emergencia fisiológica (ITH ≥ 84). Es común, que, en las regiones tropicales del mundo, y de manera particular en el noroeste de México, durante la estación de verano, y parte de la estación de primavera y otoño, las cerdas estén expuestas a estrés calórico crónico (76.5 > ITH < 87.4; Romo-Valdez *et al*., 2024), lo que afecta su rendimiento productivo y reproductivo. Debido a las mejoras en el

rendimiento reproductivo de las cerdas realizadas a lo largo de los últimos años (Boulot *et al.*, 2008), la producción de calor metabólico de los animales aumentó; en consecuencia, las cerdas son más sensibles a los efectos del estrés por calor (Bloemhof *et al.*, 2013). El objetivo del estudio fue determinar la influencia del peso al nacimiento, tasa de crecimiento y espesor de grasa dorsal en el desempeño de la cerda hiperprolífica al primer servicio, criada en ambiente cálido.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importancia del manejo antes y después del nacimiento en el desempeño reproductivo de la cerda primeriza.

Las condiciones de manejo a las que se someten las cerdas primerizas antes y después del nacimiento tienen efectos importantes y duraderos en su desempeño reproductivo cuando son adultas, ya que los eventos clave del desarrollo comienzan durante la última parte de la gestación y terminan 90 d después del nacimiento (Flowers, 2012). Estos sientan las bases de qué tan bien el cerebro y los órganos reproductivos se comunicarán entre sí durante la fase funcional de la vida reproductiva (Pressing *et al*., 1992; Morbeck *et al*., 1993). Lo anterior, puede considerarse como el período de desarrollo de la eficiencia reproductiva. El mal manejo durante este período, muy probablemente, introduce ineficiencias reproductivas permanentes que serán difíciles de revertir más adelante durante la fase funcional (Flowers, 2012); así, desde una perspectiva práctica, los problemas de longevidad de las cerdas pueden surgir de los problemas que enfrentan las cerdas durante la fase de desarrollo, la fase funcional o ambas.

Los ovarios, el útero y las partes del cerebro involucradas en la producción de hormonas reproductivas pueden visualizarse en los fetos en desarrollo alrededor de los 50 d de gestación. En el resto de la gestación, estos órganos aumentan de tamaño, por lo que al nacer tienen la mayoría de los tipos de células básicas que utilizarán como cerdas de reemplazo. Por lo tanto, al menos anatómicamente, la mayor parte del marco para el potencial reproductivo posterior de la cerda parece estar en su lugar cuando nace (Flowers, 2012). En consecuencia, el primer punto de referencia fisiológico para el potencial reproductivo, que los productores tienen la oportunidad de evaluar, es el peso al nacer. Existen relaciones positivas bien establecidas entre el peso al nacer y el tamaño de la mayoría de los órganos internos, incluidos el cerebro, los intestinos, el hígado y la cantidad de fibras en algunos músculos esqueléticos (Gondret *et al*., 2005; Foxcroft *et al*., 2009). También, se ha observado una relación positiva entre el peso al nacer y la edad a la pubertad, la tasa de ovulación y la supervivencia embrionaria temprana (ver Cuadro 1); sin embargo, de Almeida *et al.* (2014) no observaron efecto ($p > 0.05$) del peso al nacer

(1013 ± 8.3, 1411 ± 5.2 y 1787 ± 7, g; $p < 0.05$) sobre la edad de la pubertad (185.8 ± 1.2, 184.9 ± 0.6, 183.4 ± 0.9 d; $p > 0.05$), respectivamente.

Cuadro 1. Peso al nacer de primerizas de reemplazo y su relación con la pubertad, la tasa de ovulación y la supervivencia embrionaria temprana (Flowers, 2012).

Desempeño reproductivo	Peso de las lechonas al nacimiento (kg)		Valor de *p*
	Peso al nacimiento 1.580 kg	Peso al nacimiento 1.100 a 1.270 kg	
Edad a la pubertad (días)	170 ±8	188 ±6	0.001
Tasa de ovulación (n)	15.3 ±0.7	12.9 ±0.6	0.001
Sobrevivencia embrionaria (%)	83 ±0.6	69 ±0.7	0.001

2.2. Camada de origen de la cerda primeriza.

El concepto de que el tamaño de la camada de la que proviene una cerda de reemplazo influye en su desempeño como adulta no es nuevo (Mavrogenis y Robison, 1976). Los atributos positivos de ser criado en una camada pequeña, que se observaron hacen más de 40 años, estaban relacionados con el crecimiento previo al destete. Cuando se realizó este trabajo original, la duración de la lactancia superaba los 35 d y las primerizas de camadas grandes probablemente estaban expuestas a una forma leve de restricción del crecimiento, ya que sus pesos al destete eran considerablemente más ligeros en comparación con las hembras a las que se les permitía amamantar en camadas pequeñas. Una pregunta obvia, es si este fenómeno todavía tiene relevancia para los sistemas de producción modernos que utilizan genética de línea materna hiperprolífica y longitudes de lactancia mucho más cortas (21 a 24 d). Al respecto, Flowers (2012) en un estudio donde las nulíparas de reemplazo nacidas en camadas de 10 a 12 lechones fueron transferidas para que se amamantaran en camadas de menos de 7 o más de 10 lechones; y después del destete, las hembras de las camadas de lactancia, pequeñas y grandes, fueron enviadas a granjas comerciales y manejadas en las mismas condiciones. Al final de 6 partos, un 18 % más de las cerdas criadas en camadas pequeñas seguían en producción en comparación con sus contrapartes de camadas grandes. Además, las cerdas que amamantaron en camadas pequeñas tuvieron tasas de parto más altas y

tendieron a tener más nacidos vivos en comparación con las cerdas destetadas de camadas grandes. Una interpretación de estos resultados es que la reducción de la competencia durante el período neonatal mejoró tanto el desarrollo estructural como funcional de los órganos reproductivos de las futuras cerdas de reemplazo. Esto, a su vez, podría haber creado una situación en la que todo el eje reproductivo operara de manera más eficiente durante su fase funcional. Como se mencionó anteriormente, existe una relación positiva entre el peso al nacer y el desarrollo de los órganos internos y las fibras musculares en los animales de mercado; aquellos con peso bajo al nacer tuvieron menos fibras musculares por haz y menos desarrollo del hígado y los intestinos (Gondret *et al*., 2005). Como consecuencia, crecieron más lentamente alcanzando el peso de mercado más tarde; y tenían un porcentaje de músculo más bajo en comparación con sus contrapartes de mayor peso al nacimiento. Este fenómeno se conoce como restricción del crecimiento intrauterino y puede tener implicaciones importantes para las cerdas de reemplazo que provienen de líneas de cerdas maternas altamente prolíficas. Flowers (2012), observó que el crecimiento durante la lactancia en relación con el peso al nacer de una nulípara fue el mejor predictor del potencial de longevidad de la cerda.

Debido a que las cerdas primerizas constituyen una parte significativa de la piara de cerdas reproductoras, el desarrollo exitoso de las cerdas primerizas es fundamental para el rendimiento y la rentabilidad general de la unidad de producción. Las decisiones de manejo y nutrición antes del primer apareamiento de las cerdas primerizas afectan la productividad y el desempeño reproductivo posterior (Young *et al*., 2008; Miller *et al*., 2011). Las primerizas que alcanzan la pubertad a edad temprana tienden a permanecer más tiempo en la piara y ser más productivas (Patterson *et al*., 2010; Saito *et al*., 2011). Al respecto, se ha observado que casi el 10 % de las cerdas nulíparas no expresan el celo a los 8 meses de edad (Moeller *et al*., 2004; Saito *et al*., 2011); el anestro y la falta de ciclos estrales regulares (no retorno a estro) son las razones más comunes para retirarlas de la piara (Engblom *et al*., 2007; Stancic *et al*., 2011).

2.3. Importancia de la edad a la pubertad de la cerda primeriza en los días no productivos de la piara reproductora.

La edad del primer estro, o inicio de la pubertad, tiene un valor predictivo positivo para el desempeño reproductivo futuro dentro de una piara reproductora (Patterson *et al*., 2010). Por lo tanto, este fenotipo puede estar asociado con la productividad de por vida de la cerda, o la cantidad de cerdos de calidad que produce una cerda desde el momento en que ingresa a la piara reproductora hasta el momento que se desecha.

El intervalo de entrada al servicio de la cerda primeriza es un factor importante que contribuye al total de días no productivos (DNP) en la piara reproductora (Patterson *et al*., 2002b). La reducción de los DNP y, en consecuencia, la reducción de los costos de producción se puede obtener logrando cerdas primerizas con una edad más temprana a la pubertad (Evans y O'Doherty, 2001). Las reservas corporales de las cerdas primerizas en el primer apareamiento pueden afectar el momento y el patrón de desecho de las cerdas primerizas. Por lo tanto, la eficiencia de la piara reproductora puede mejorarse si las cerdas primerizas se introducen con un total de DNP mínimo, siempre que se garantice un peso mínimo en el primer servicio para mantener rendimiento y longevidad (Williams *et al*., 2005). Se ha observado que las cerdas primerizas que exhiben su primer celo conductual a edad menor (< 153 d) en comparación con edades mayores (154 a 180 d) tienen menos días improductivos en la piara reproductora (Patterson *et al*., 2010); además, las cerdas primerizas que exhibieron estro después de los 180 d de edad tuvieron una tasa de servicio más baja que las primerizas cuyo primer estro se detectó antes de los 180 d de edad. Esta observación también ha sido corroborada, en el sentido de que las cerdas primerizas que alcanzan su primer celo a una edad menor tienen una mayor probabilidad de producir un tercer parto (Engblom *et al*., 2008).

2.4. Efecto de la presencia del verraco en la presentación de la pubertad.

El contacto con el verraco a una edad adecuada ejerce una gran influencia y juega un papel crítico para inducir el celo de la pubertad. Una edad más temprana al inicio de la exposición al verraco corresponde a una menor edad a la pubertad, pero requiere más

días de estimulación; por el contrario, las cerdas primerizas mayores al inicio de la exposición al verraco suelen ser mayores en la pubertad pero requieren menos días de estimulación (Patterson *et al*., 2002b, Van Wettere *et al*., 2006). El momento y la sincronía de la pubertad parecen tener mejores respuestas cuando las primerizas tienen más de 180 d, lo que sugiere que los genotipos actuales pueden tener una madurez fisiológica más tardía (Van Wettere *et al*., 2006). Sin embargo, se ha observado la posibilidad de que más del 75 % de las cerdas primerizas entren en celo hasta 40 d después de la estimulación, cuando la exposición al verraco inicia alrededor de los 140 d de edad (Patterson *et al*., 2002b, Flowers, 2012).

2.5. Efecto de la tasa de crecimiento en la presentación de la pubertad y desempeño reproductivo posterior.

Los intentos de asociar la pubertad con un peso crítico (Newton y Mahan, 1992), tasa de crecimiento (Beltranena *et al*., 1993), espesor de grasa dorsal (Gaughan *et al*., 1995) o tejido magro (Patterson *et al*., 2002a) siguen siendo controvertidos, probablemente debido a una comprensión poco clara de la interacción entre las características corporales y otros factores como la raza, la edad, el efecto verraco, la estación y el entorno que también afectan el logro de la pubertad (Evans y O'Doherty, 2001); además, la activación del eje hipotalámico-pituitario-gonadal y el desarrollo folicular inicial que precede al inicio de la pubertad pueden ser bastante variables entre una cohorte de primerizas. La selección genética y el manejo nutricional para producir cerdos más magros también pueden resultar en un retraso en el inicio de la pubertad (Evans y O'Doherty, 2001). Sin embargo, la tasa de crecimiento puede estar relacionada con el inicio de la pubertad; al respecto, Kummer *et al*. (2009) demostraron que las cerdas primerizas con tasas de crecimiento más rápidas en el momento de la exposición al verraco alcanzaron la pubertad antes que las contrapartes de crecimiento más lento; sin embargo, Patterson *et al*. (2002a) no observaron una respuesta similar con respecto al inicio de la pubertad al alterar nutricionalmente las tasas de crecimiento magro en las cerdas primerizas. En relación con esto, se ha observado que las cerdas primerizas contemporáneas con mayor peso corporal en el momento de la exposición al verraco

llegaron a la pubertad a una edad más joven (King, 1989), lo que sugiere que el crecimiento rápido y, como resultado, el peso corporal en etapas específicas o edad de desarrollo podría ser predictivo de la edad de la pubertad.

Una mayor tasa de crecimiento magro, grasa corporal reducida y mayores pesos maduros, típicos de los genotipos actuales, dan como resultado primerizas más pesadas y delgadas (con menos espesor de grasa dorsal) cuando se produce la estimulación de la pubertad (Van Wettere *et al*., 2006). Por lo tanto, los posibles efectos adversos de la delgadez extrema en el logro de la pubertad de las cerdas primerizas modernas deben tenerse en cuenta en un programa de desarrollo de cerdas primerizas.

En el contexto de una mayor tasa de crecimiento de las cerdas nulíparas actuales, se especula con la aceleración de la pubertad y el primer apareamiento por una exposición temprana a los verracos. De hecho, cuando el apareamiento se realiza entre los 185 y los 209 d de edad, en lugar de después de los 210 d, la tasa de parto, la tasa de descarte y el total de lechones nacidos producidos en tres partos no se vieron afectados negativamente en las cerdas primerizas con una tasa de crecimiento de más de 700 g por día (Kummer *et al*., 2006).

Por lo tanto, la baja tasa de crecimiento y los retrasos innecesarios en la estimulación del celo puberal son factores importantes que contribuyen a los DNP de la piara reproductora (Patterson *et al*., 2002b).

2.6. Edad y peso para el apareamiento de la cerda primeriza.

Los criterios de selección para las cerdas de reemplazo incluyen la edad, el peso corporal, el espesor de la grasa dorsal, el número de ciclos estrales y el número de pezones. Las cerdas de reemplazo deben tener al menos seis a siete pares de pezones y se recomienda que se apareen a los 240 d de edad, a los 130 kg de peso corporal, con un espesor de grasa dorsal de 17 mm y al segundo o posterior celo observado (Tummaruk *et al*., 2009b); en tanto que, PIC (2022) recomienda que el primer servicio de las cerdas primerizas Camborough® se realice entre los 200 a 225 d de edad, con un peso objetivo de 135 a 160 kg, con una tasa crecimiento entre 600 a 800 g/d, y en el segundo o tercer estro.

La edad al primer servicio en las cerdas primerizas influye en su rendimiento reproductivo posterior y en su longevidad (Koketsu *et al*., 1999; Tummaruk *et al*., 2001; Patterson *et al*., 2010). Bajo condiciones de campo (sistema extensivo), la edad observada al primer apareamiento en las cerdas primerizas varía considerablemente de 150 a 348 d (Tummaruk *et al*., 2000), mientras que la edad promedio al primer apareamiento en cerdas primerizas varía, entre poblaciones de explotaciones comerciales, de 198 (Kummer *et al*., 2006) a 268 d (Tummaruk *et al*., 2009a).

El retraso en la edad de la primera cubrición de las cerdas primerizas aumenta los DNP desde la entrada hasta la concepción e influye en su desempeño reproductivo posterior (Tummaruk *et al*., 2007). Se ha observado que los problemas reproductivos contribuyen con el 47 % de las razones por las que se retiran las cerdas primerizas de las piaras reproductoras (Tummaruk *et al*., 2006). Una proporción significativa (10 a 30 %) de las cerdas primerizas que ingresan a la piara reproductora nunca paren una camada (Nonneman *et al*., 2013). Los problemas reproductivos comunes incluyen anestro, inseminación repetida, no estar gestante, flujo vaginal anormal, aborto y problemas de parto (Tummaruk *et al*., 2009a).

Con base en la evaluación económica, Schukken *et al*. (1994) determinaron que las cerdas primerizas en América del Norte deben aparearse antes de los 220 d de edad. En Japón, Koketsu *et al*. (1999) observaron que las cerdas primerizas apareadas después de los 230 d de edad tuvieron bajo desempeño reproductivo posterior y menor longevidad. Así, las cerdas primerizas apareadas a una edad más avanzada tienen una vida reproductiva más corta y un mayor riesgo de ser sacrificadas debido a problemas de infertilidad (Young *et al*. 2008). Además, Tummaruk *et al*. (2007) observaron que las cerdas primerizas que exhibieron el primer estro permanente entre los 180 y 200 d de edad tuvieron un tamaño de camada más grande en los primeros tres partos que las que expresaron el primer estro entre 201 y 220 d de edad. Estos hallazgos indican la importancia del manejo de primerizas, así como la primera decisión de apareamiento para su desempeño reproductivo posterior. En la práctica, se sacrifican anualmente entre el 40 al 50 % de las cerdas de las piaras reproductoras y se reemplazan por cerdas primerizas, por lo tanto, el rendimiento reproductivo de las cerdas primerizas influye en

gran medida en el rendimiento reproductivo general de una piara porcina (Roongsitthichai *et al*., 2013).

Las tasas altas de reemplazo de las cerdas de uno y dos partos han sesgado las distribuciones de paridad en la mayoría de las granjas de reproducción de América del Norte hacia las cerdas primerizas; provocando, que la productividad general de la piara reproductora se vea limitada debido a que las cerdas se sacrifican antes de que alcancen sus períodos máximos de rendimiento reproductivo (Flowers, 2012).

2.7. Condición corporal y medición del espesor de la grasa dorsal.

El EGD es un indicador de la condición corporal de las cerdas (Kim *et al*., 2013); su medición constituye un método objetivo y preciso para evaluar la condición corporal de las cerdas (Charette *et al*., 1996). Para medir el EGD en cerdos se utilizan básicamente dos tipos de sondas: sondas de tipo óptico y de tipo ultrasónico. La sonda óptica funciona sobre la base de la reflexión de la luz entre los músculos y la profundidad de la grasa, lo que implica el valor del EGD, mientras que la sonda ultrasónica funciona según el criterio del reflejo de la onda de sonido (Pomar *et al*., 2002). Se ha observado que los instrumentos ultrasónicos tienen consistencia y precisión en la medición del EGD en cerdos vivos para maximizar la productividad económica (Magowan y McCann, 2006). La posición P2 (aproximadamente 6 a 8 cm de la línea media dorsal a nivel de la última costilla) es el sitio más apropiado para evaluar la profundidad de la grasa dorsal en cerdos vivos. En general, la medición del EGD se realiza mediante ultrasonografía en modo A. Se utiliza un valor promedio de ambos lados de la posición P2 como EGD (mm) de cada cerdo (Tummaruk *et al*., 2009b). Sin embargo, Suster *et al*. (2003) encontraron que la posición P2 sólo podía ser un predictor moderado del contenido de grasa en cerdos ya que la dispersión del contenido de grasa en el cuerpo del animal era considerablemente variable. No obstante, P2 es actualmente la posición más precisa para medir el EGD en cerdos (Magowan y McCann, 2006; Tummaruk *et al*., 2009b); además, se prefiere la sonda ultrasónica para la evaluación del EGD en cerdos vivos en la posición P2.

2.8. Influencia de espesor de la grasa dorsal en la presentación de la pubertad en la cerda.

En las cerdas la presentación de la pubertad se reconoce cuando ocurre el primer celo y la primera ovulación. La pubertad en las cerdas primerizas está determinada por factores tanto internos (raza, peso corporal, grasa dorsal), como de manejo (nutrición, contacto con el verraco, entorno), mediados por el eje endocrino-reproductivo (Evans y O'Doherty, 2001). Además, la edad de la pubertad determina el desempeño de por vida de las cerdas; se ha observado que las cerdas primerizas que alcanzaron la pubertad a edad tardía son desechadas primero que las que alcanzan la pubertad antes (Koketsu *et al*., 1999). Sin embargo, no se puede identificar con exactitud la edad de la pubertad; por lo tanto, la edad del primer estro observado se usa básicamente para definir la pubertad en las cerdas primerizas (Evans y O'Doherty, 2001; Tummaruk *et al*., 2009b). Generalmente, las cerdas primerizas expresan la edad del primer estro observado aproximadamente a los 200 d (Tummaruk *et al*., 2007; Roongsitthichai *et al*., 2013). Se ha demostrado que las cerdas primerizas con mayor EGD alcanzan la pubertad más rápido que aquellas con menor EGD (Nelson *et al*., 1990). Esto indica que las cerdas nulíparas con alto contenido de grasa dorsal podrían ser servidas a más temprana edad que aquellas con menor contenido de grasa dorsal (Tummaruk *et al*., 2001). Además, se ha observado que las cerdas primerizas con alto EGD (17.8 mm), alimentadas *ad libitum*, alcanzan la pubertad a los 198 d de edad, mientras que aquellas con menor EGD (14.7 mm), restringidas al 80 % de alimento, alcanzan la pubertad a los 203 d de edad (Rydhmer, 2000); estos mismos autores, indicaron que la edad a la pubertad tiene una heredabilidad (h^2 = 0.30), que es superior con respecto a otros rasgos reproductivos. Esto implica que la selección de cerdas primerizas con base en el EGD podría contribuir al mejor desempeño reproductivo de la piara reproductora. Además, las señales metabólicas son cruciales para el inicio de la pubertad (Barb *et al*., 1997). Se ha observado que algunas hormonas metabólicas están estrechamente relacionadas con la grasa dorsal y el logro de la pubertad (Rozeboom *et al*., 1995). La leptina y el factor I de crecimiento similar a la insulina (IGF-I) han sido reconocidos como reguladores del crecimiento y la diferenciación celular, el inicio de la pubertad y la composición corporal (Bidanel *et al*., 1996).

La leptina es reconocida como una de las hormonas metabólicas del tejido adiposo; importante en la homeostasis energética y el logro de la pubertad (Campfield *et al*., 1995). Los adipocitos son el mayor reservorio de producción de leptina, hormona proteica de 16 kDa (Barb y Kraeling, 2004). Se ha observado que la concentración sérica de leptina se eleva durante el desarrollo puberal en los cerdos (Qian *et al*., 1999), antes de un aumento en la hormona luteinizante (LH) y los estrógenos (Barb *et al*., 2000). Además, se ha observado que la concentración sérica de leptina aumenta durante la pubertad en las cerdas primerizas (Hausman *et al*., 2012). También, se ha observado que la leptina funciona como una señal metabólica permisiva para el inicio de la pubertad a través de la secreción de LH (Barb *et al*., 2005). Este fenómeno no sólo ha sido observado en cerdos, sino que también ocurrió en ratones (Chehab *et al*., 1997) y vaquillas (Garcia *et al*., 2002). En consecuencia, la leptina podría ser una señal metabólica del estado nutricional que activa el eje reproductivo. Al respecto, se encontró que un aumento en la masa de adipocitos es proporcional a un aumento en la concentración sérica de leptina (Considine *et al*., 1995). Además, otro estudio demostró que la concentración sérica de leptina se relaciona positivamente con el EGD en la posición P2 (r = 0.476) (Berg *et al*., 2003). Se determinó, también, una asociación positiva entre el nivel de ARN mensajero de leptina y el EGD en cerdos (Robert *et al*., 1998). Esto explica por qué que los cerdos con alto EGD alcanzan la madurez sexual antes que aquellos con bajo EGD.

Adicionalmente, se ha demostrado que el IGF-I es uno de los factores metabólicos significativos que afectan el inicio de la pubertad en los cerdos (te Pas *et al*., 2004). Esto implica que las primerizas con alto nivel de IGF-I alcanzan la pubertad más rápido que aquellas con bajo nivel de IGF-I. Se ha observado una asociación positiva entre el EGD, la concentración sérica de IGF-I y la edad puberal en las cerdas nulíparas. Las cerdas nulíparas con alto EGD (≥ 17.0 mm) en el día del apareamiento tuvieron un nivel sérico de IGF-I más alto (31.1 ±1.1 *vs.* 26.0 ±1.4 nmol/L, p = 0.008) que aquellas con bajo EGD (≤ 13.5 mm) (Roongsitthichai *et al*., 2013). Además, las primerizas con alta concentración sérica de IGF-I alcanzaron el inicio de la pubertad más rápido que aquellas con un nivel sérico bajo de IGF-I (< 153 *vs.* 168 a 180 d, p < 0.05) (Patterson *et al*., 2010). También, se ha observado que no se podría producir una ovulación en los ratones hembra con mutación nula de IGF-I, incluso si se administrará gonadotropinas (Baker *et al*., 1996).

Por el contrario, un estudio cuestionó que no se encontró asociación entre el nivel plasmático de IGF-I y la edad de la pubertad en cerdos en crecimiento (Lamberson *et al*., 1995). Sin embargo, en un estudio posterior, se encontró que el IGF-I, en la mayoría de las especies de mamíferos, promueve la proliferación de células de la granulosa, la producción de esteroides y el crecimiento de los ovocitos (Silva *et al*., 2009). Esta información refleja las razones por las cuales las cerdas nulíparas con alto EGD adquieren la madurez sexual antes que aquellas con bajo EGD.

2.9. Influencia del espesor de la grasa dorsal en la ciclicidad estral.

No sólo las hormonas metabólicas relacionadas con la grasa dorsal afectan el eje reproductivo en los cerdos. La grasa es el reservorio de una importante hormona esteroide sexual, la progesterona (P4) (Hillbrand y Elsaesser, 1983). Debido a la propiedad lipofílica de la P4, la deposición de P4 en el tejido adiposo se ha observado en vacas (McCracken, 1964) y cerdos (Hillbrand y Elsaesser, 1983). Además, una alteración en la cantidad de grasa dorsal evidentemente afecta la concentración de P4 durante el ciclo estral de los cerdos. Resultados de la biopsia de grasa dorsal en cerdas primerizas, entre 2 a 5 cm de la línea media dorsal por encima del músculo *longissimus dorsi*, revelaron una estrecha relación entre los niveles plasmáticos de P4 y la grasa dorsal (Hillbrand y Elsaesser, 1983).

De forma natural, el cuerpo lúteo alcanza la máxima capacidad secretora de P4 entre los días 8 y 12 del ciclo estral (de aproximadamente 21 días) y comienza a declinar a partir del día 13 (Foxcroft y Van de Wiel, 1982); Hillbrand y Elsaesser (1983), observaron que cantidades considerables de progesterona están presentes en la grasa dorsal del cerdo; estos investigadores calcularon, con base en 150 kg de peso corporal y la estimación de 40 kg de tejido graso y un total de 6 litros de plasma sanguíneo, que en la mitad de la fase lútea se almacenan alrededor de 36 mg de progesterona en el tejido graso, mientras que sólo alrededor de 0 a 2 mg de progesterona están presentes en la sangre. Brinkley y Young (1968), indicaron que la cantidad de progesterona presente en el tejido graso es aproximadamente 200 veces mayor que la presente en la sangre y corresponde a la producción diaria de los cuerpos lúteos de la cerda en el día 11 del ciclo. Hillbrand y

Elsaesser (1983), observaron una relación entre las concentraciones de P4 en la sangre y el EGD durante el ciclo estral. Estos autores observaron un alto almacenamiento de progesterona en la grasa dorsal (aproximadamente 0.9 ng/mg de grasa) que mostró un retraso de 2 d en la reducción de las concentraciones de P4 después de la luteólisis en comparación con las concentraciones plasmáticas; la vida media inicial de la P4 plasmática es de 2 h, mientras que el de la P4 almacenada en la grasa dorsal es de 34 h. Estas diferencias implican la importante función del tejido adiposo como un almacén para evitar el catabolismo de P4; cuya liberación por parte de las cerdas primerizas más gordas puede tener efectos potencialmente negativos en su rendimiento reproductivo posterior (Thitachot *et al*., 2021).

2.10. Efecto del ambiente físico sobre la pubertad.

La temperatura ha sido la variable más estudiada y utilizada como indicador de estrés térmico, aunque la humedad relativa del aire (HR) también afecta la termorregulación en los animales (Huynh, 2005). Las altas temperaturas ambientales tienen efectos negativos sobre el rendimiento reproductivo de las cerdas (Bloemhof *et al*., 2013).

Debido a las mejoras en el rendimiento reproductivo de las cerdas realizadas a lo largo de los últimos años (Boulot *et al*., 2008), la producción de calor metabólico de las cerdas aumentó; en consecuencia, las cerdas son más sensibles a los efectos del estrés por calor (Bloemhof *et al*., 2013). El estrés por calor se define a partir del exceso de la temperatura crítica superior de la zona termoneutral (Black *et al*., 1993). Bloemhof *et al*. (2013), estimaron los 21.7 °C como umbral para el parámetro número total de lechones nacidos y 19.2 °C para la tasa de partos. Sin embargo, la temperatura por sí sola no describe suficientemente el entorno climático de un animal (Nardone *et al*. 2006). Dentro de la zona termoneutral la humedad relativa es insignificante, pero se convierte en un factor determinante en condiciones de estrés por calor (Huynh *et al*., 2005). Para describir los efectos ambientales sobre el animal, se han desarrollado y se aplican ampliamente varios índices, incluido el índice de temperatura-humedad (ITH) (Brügemann *et al*., 2012). El ITH creado por Earl Thom en 1959, combina estas dos variables y las asocia al confort animal. Este índice, modificado, es el parámetro más utilizado para predecir riesgos de

estrés calórico (Gaughan *et al*., 2008). De acuerdo con Mader *et al*. (2006), el ITH se obtiene mediante la fórmula [0.8 x temperatura ambiente + [(% HR/100) x (temperatura ambiente – 14.4)] + 46.4]; cuyo resultado, al combinar el efecto de la temperatura ambiental con el de la humedad relativa (HR) del aire, indica el nivel de confort o estrés fisiológico al que el organismo animal está sujeto durante distintos periodos de tiempo; el nivel de confort o estrés se expresa numéricamente de la siguiente manera: estado de confort (ITH ≤ 74), estado de alerta fisiológica (74 > ITH < 78), estado de peligro fisiológico (78 ≥ ITH < 84) y estado de emergencia fisiológica (ITH ≥ 84). Es común, que, en las regiones tropicales del mundo, y de manera particular en el noroeste de México, durante la estación de verano y parte de la época de primavera y otoño, las cerdas estén expuestas a estrés calórico crónico (76.5 > ITH < 87.4; Romo-Valdez *et al*., 2024), lo que afecta su rendimiento productivo y reproductivo.

Estrés calórico. Los cerdos estresados por carga calórica generalmente tienen un nivel de actividad deprimido, su comportamiento conductual es estar acostado y, por lo tanto, tienen menos períodos de alimentación y actividad física, por lo que disminuyen la ingesta de alimento para reducir la producción metabólica de calor y mantener la homeotermia, lo que resulta en un crecimiento más lento (Cross *et al*., 2020). Cuando las condiciones ambientales exceden la zona termoneutral del cerdo los nutrientes se desvían de la síntesis de productos (carne, feto, leche), hacia el mantenimiento de la temperatura corporal, lo que compromete la eficiencia productiva (Ross *et al*., 2015).

Las cerdas en estrés calórico reducen su consumo de alimento (Renaudeau *et al*., 2012), lo que consecuentemente, produce un balance energético negativo, pérdida de la condición corporal y problemas reproductivos asociados a la función ovárica inadecuada, que se manifiesta en anestro, expresión débil o irregular del estro, ciclos estrales irregulares, pubertad retrasada, intervalo prolongado de destete a celo, mayores tasas de aborto, bajo índice de partos y tamaño pequeño de camada al nacimiento y al destete; así como, disminución en la producción de leche, que puede afectar negativamente el crecimiento de los lechones durante la lactancia y su peso al destete. En la etapa temprana de gestación, el estrés calórico aumenta la mortalidad embrionaria, aumenta la cantidad de lechones nacidos muertos y reduce el peso de los lechones al nacimiento (Wegner *et al*., 2016; Lucy y Safranski, 2017). También, el estrés calórico en

la gestación parece tener consecuencias en el desempeño futuro de la descendencia, que influye negativamente en la productividad y rentabilidad de los cerdos (Mayorga *et al.*, 2020).

En las cerdas lactantes, se ha observado que las temperaturas superiores a 25 °C reducen el consumo de alimento (6.1 *vs.* 4.2 kg/d con temperaturas de 25 y 30 °C, respectivamente), lo que causa disminución en la producción de leche y aumento en la pérdida de peso de la cerda (-7.9 *vs*. -24.2 kg/lactación con temperaturas de 25 y 30 °C, respectivamente); por lo tanto, los cerdos son destetados más pequeños(6.9 *vs*. 6.4 kg con temperaturas de 25 y 30 °C, respectivamente), y la capacidad de la cerda para volver a la producción después del destete se ve comprometida, debido a la pérdida de peso (Myer y Bucklin, 2012); también se ha observado que la alta temperatura ambiental retrasa o evita la aparición del estro, reduce la tasa de concepción y aumenta la muerte embrionaria temprana (Plush *et al.*, 2019; Bunz *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2019, 2022).

Cui y Gu (2015), observaron que el estrés calórico crónico leve (30 °C durante tres semanas) reduce la ingesta de alimento y la ganancia diaria de peso corporal en los cerdos de finalización en un 16 y 25 %, respectivamente; en paralelo, aumenta la temperatura rectal, la tasa de respiración y el cortisol plasmático, disminuye la triyodotironina libre en plasma y la hormona del crecimiento; estos parámetros son comúnmente considerados indicadores de las consecuencias del calor en la fisiología animal (Morera *et al.*, 2012). A diferencia del estrés agudo (40 – 42 °C, menos de 24 h), el estrés crónico (33 - 35 °C, más de 24 h), plantea un desafío distinto para los animales (Cui y Gu, 2015). Cui *et al.* (2016) y Ganesan *et al.* (2017), indicaron que la exposición a estrés calórico por más de 12 h provoca estrés oxidativo en los cerdos.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las altas tasas de reemplazo y baja tasa de retención de las cerdas primerizas disminuyen la eficiencia del hato reproductor y la rentabilidad de las unidades de producción porcina comercial.

IV. HIPÓTESIS

El peso al nacimiento, la tasa de crecimiento y el espesor de grasa dorsal afectan el desempeño de la cerda hiperprolífica al primer servicio, criada en ambiente cálido.

V. OBJETIVO GENERAL

Determinar la influencia del peso al nacimiento, tasa de crecimiento y espesor de grasa dorsal en el desempeño de la cerda hiperprolífica al primer servicio, criada en ambiente cálido.

5.1. Objetivos particulares

5.1.1. Determinar la influencia del peso al nacimiento y tasa de crecimiento en la tasa de retención de cerdas primerizas a los 148 d de edad.
5.1.2. Determinar la influencia del peso al nacimiento, tasa de crecimiento y espesor de la grasa dorsal en la edad a la pubertad.
5.1.3. Determinar la influencia del peso al nacimiento, tasa de crecimiento y espesor de la grasa dorsal en la edad al primer servicio.
5.1.4. Determinar la influencia del índice de temperatura y humedad en la edad a la pubertad y al primer servicio.

VI. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1. Ubicación del área en donde se realizó el estudio.

El estudio se realizó durante el periodo de marzo de 2023 a julio de 2024 en la granja porcina la Huerta, con capacidad para albergar 700 cerdas hiperprolíficas (genética PIC) en ciclo reproductivo. La granja está ubicada en la sindicatura de Culiacancito, Culiacán, Sinaloa, en el noroeste de México, con coordenadas geográficas: 24° 49’ 38’ latitud Norte y 107° 22’ 47’ longitud Oeste, con una altitud de 60 msnm (INEGI, 2009). El clima se clasifica como semiseco muy cálido (BS1(h’)), con temperatura media anual de 24.9 °C, con máximas de 45 ºC en los meses de julio y agosto, y mínimas de 7 °C en diciembre y enero. La precipitación pluvial es de 671.4 mm, con precipitaciones máximas en los meses de julio, agosto y septiembre (García, 2004).

6.2. Manejo de las cerdas primerizas.

Se utilizaron 680 lechonas de la línea PIC Camborough®, pesadas, identificadas y preseleccionadas como futuras reproductoras desde el momento del nacimiento. Después de una lactancia de 28 d fueron pesadas y se registró su peso al momento del destete. Después del destete se alojaron en el área de iniciación (área cerrada con ventilación forzada), donde recibieron alimentación a libre acceso de acuerdo con los requerimientos nutrimentales de cada etapa fisiológica; en dicha área permanecieron por un periodo de 56 d, para luego ser alojadas en el área de preparación de hembras de reemplazo, donde se alojaron en corraletas colectivas, con piso de concreto, en grupos de 25 por corral; se proporcionó 1.5 m^2 de espacio libre por cerda primeriza. Recibieron alimentación a libre acceso, con una dieta estándar con base en maíz y pasta de soya (3.200 Mcal. EM/kg, 17 % PC y 0.9 % lisina).

Las cerdas primerizas fueron pesadas y se les midió el espesor de grasa dorsal (EGD) a los 148 d de edad y al momento del servicio.

El período de estimulación de la pubertad se inició cuando las cerdas primerizas tenían en promedio 150 d de edad; para la estimulación de la pubertad, las primerizas fueron

expuestas a un verraco sexualmente maduro (> 12 meses de edad), que se introdujo en cada corral dos veces al día (mañana y tarde) durante 15 a 20 min. Se realizó una rotación de verracos, reemplazando los utilizados por la mañana por otros por la tarde. Las primerizas tuvieron contacto físico pleno con los verracos y la cerda se consideró en celo cuando mostró el reflejo de bipedestación en respuesta a la prueba de contrapresión en el lomo en presencia del verraco.

Se registró el número de celos presentados después del inicio de la exposición al verraco y se inseminaron en el tercer celo observado y/o en el momento que lograron el peso objetivo entre 130 a 160 kg de peso corporal.

Se utilizó un esquema de inmunización estándar para cerdas de reemplazo, que consistió en la aplicación de inmunógenos contra micoplasma a los 7 d después del nacimiento, circovirus a los 21 postnacimiento, a la selección se inmunizaron contra parvovirus, leptospira y erisipela, y 21 d antes de ser inseminadas contra PRRS.

6.3. Registro de la información.

La recopilación de datos y las mediciones fueron realizadas por el equipo de investigación con la ayuda del personal de la granja. El peso corporal y el EGD se midieron a los 148 d de edad e inmediatamente antes del primer servicio. La tasa de crecimiento (TC) se calculó dividiendo el peso entre la edad, considerando el peso ganado desde el nacimiento hasta los 148 d edad y al momento del primer servicio. La medición del EGD se realizó a nivel de la última costilla, aproximadamente 6 a 8 cm de la línea media (P2), mediante ultrasonografía (Renco lean meter—Renco Corporation, Minneapolis, MN), en ambos lados de la cerda (Tummaruk *et al.*, 2009b). La media obtenida de estas dos medidas fue el valor utilizado en el análisis.

6.4. Diseño del estudio.

El estudio es de tipo observacional prospectivo comparativo (Méndez *et al.*, 1990), en el que se incluyeron los grupos (cohortes) de lechonas preseleccionadas para reemplazo; la unidad de observación fue cada cerda.

Las lechonas se clasificaron en cuatro grupos de peso al nacimiento (PN):

- ✓ Igual o menor a 1.1 kg
- ✓ 1.2 a 1.4 kg
- ✓ 1.5 a 1.6 kg
- ✓ Igual o mayor a 1.7 kg

En cuatro grupos de TC desde el nacimiento hasta los 148 d edad (edad prepuberal):

- ✓ Igual o menor a 0.400 kg/d
- ✓ 0.401 a 0.500 kg/d
- ✓ 0.501 a 0.600 kg/d
- ✓ Mayor a 0.601 k/d)

En cuatro grupos de TC desde el nacimiento hasta el momento del primer servicio:

- ✓ Igual o menor a 0.500 kg/d
- ✓ 0.501 a 0.600 kg/d
- ✓ 0.601 a 0.700 kg/d
- ✓ Mayor a 0.701 kg/d

En cuatro grupos de EGD al momento del primer servicio:

- ✓ Igual o menor a 10 mm
- ✓ 10.5 a 12.5 mm
- ✓ 13 a 15 mm
- ✓ Mayor a 15.5 mm

En tres grupos de ITH en el que estuvieron las cerdas primerizas de los 84 a los 148 d de edad y de los 149 a los 268 d de edad.

- ✓ ITH normal; ≤ 74
- ✓ ITH en alerta fisiológica; > 74 < 78
- ✓ ITH en peligro fisiológico; ≥ 78 < 84

El ITH al que estuvieron expuestas las cerdas, durante dichos periodos, fueron calculados con base en la información del estado del tiempo registrado en la estación meteorológica de la Facultad de Biología de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicada a 20 km de la unidad de producción porcina donde se realizó el estudio. Se utilizó el índice propuesto por Mader *et al.* (2006).

Las variables de respuesta medidas fueron la tasa de selección de las cerdas primerizas a los 148 d de edad, edad a la pubertad y edad al primer servicio.

6.5. Análisis estadístico.

Las frecuencias de lechonas preseleccionadas y cerdas que presentaron pubertad según el grupo de peso al nacimiento, se analizaron con la prueba de Ji cuadrada para cuadros de contingencia 2 x 4; cuando la probabilidad fue ≤ 0.05, se hicieron combinaciones de cuadros de contingencia 2 x 2 para detectar entre que grupos estuvo la asociación estadística.

Los datos en los grupos de clasificación para PN, TC, EGD e ITH, se probaron para normalidad con la prueba de Kolmogorov-Smirnov corregida por Lilliefors (Lilliefors, 1967) para n ≥ 50 datos, o Shapiro-Wilk (n < 50) mediante la librería nortest en el paquete R (Gross y Ligges, 2015); y homogeneidad de las varianzas con la prueba de Levene con la librería car de R (Fox y Weisberg, 2019).

Se realizaron análisis de la varianza con el procedimiento para modelos lineales generales (GLM) para datos desbalanceados en SAS 9.0 (SAS, 2002) con el siguiente modelo lineal general:

$$\boldsymbol{y_{ij} = \mu + GC_i + \varepsilon_{ij}}$$

Donde:

y_{ij} = La variable de respuesta.

μ = La media general.

GC_i = El efecto del grupo de clasificación (PN, TC, EGD, ITH).

ε_{ij} = El error aleatorio.

Cuando las varianzas fueron heterogéneas se utilizó el ANDEVA de Welch, para obtener la significancia estadística de la prueba de F para el grupo de clasificación (variable independiente).

La comparación de las medias se realizó mediante pruebas sugeridas por los datos (Prueba de Tukey o Prueba de DMS protegida de Fisher).

El nivel de alfa para considerar asociación entre categorías o diferencia estadística entre medias fue máximo de 0.05; y se consideró como tendencia a la significancia estadística cuando el alfa fue > 0.05 y ≤ 0.11.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso al nacimiento

Los grupos de lechonas por peso al nacimiento se presentan en el Cuadro 2. Los resultados del efecto del peso al nacimiento en la tasa de retención de cerdas primerizas a los 148 días de edad se muestran en el Cuadro 3. Las lechonas con un peso al nacimiento igual o menor a 1.1 kg tuvieron la tasa de retención más baja (62.4 %; p = 0.003), respecto de las cerdas que pesaron 1.2 a 1.4, 1.5 a 1.6 y mayor a 1.7 kg, con tasa de retención del 74.9, 79.3 y 75.2 %, respectivamente. El peso al nacimiento influyó en el peso corporal y la tasa de crecimiento (Cuadro 4) durante los primeros 148 días de edad. Las lechonas con peso al nacimiento igual o superior a 1.5 kg lograron un peso corporal superior a los 72 *vs.* 63.8 kg de las lechonas nacidas con peso igual o menor a 1.1 kg (p = 0.001); la tasa de crecimiento fue mayor (0.477 *vs.* 0.423 kg/d; p = 0.001) en las lechonas nacidas con un peso superior a 1.1 kg (Cuadro 4). El peso al nacimiento no influyó (p = 0.27) en la edad a la pubertad; se observó una edad a la pubertad entre 221 a 232 d, con una diferencia numérica favorable para las cerdas con peso al nacimiento igual o superior a 1.2 kg; sin embargo, la edad al primer servicio fue menor en las lechonas con peso al nacimiento igual o superior a 1.2 kg (249 *vs.* 263 d; $p \leq 0.05$). El peso al primer servicio fue mayor (p = 0.02) en las cerdas que pesaron más de 1.5 kg al nacimiento (Cuadro 5). Los resultados del presente estudio coinciden a lo informado por Magnabosco *et al.* (2015, 2016), quienes observaron que las lechonas con bajo peso al nacimiento tienen una supervivencia y tasa de crecimiento baja, reduciendo así las oportunidades para su selección como futuros reproductores; estos autores, al igual que de Almeida *et al.* (2014), no observaron efecto ($p > 0.05$) del peso al nacimiento (1013 ± 8.3, 1411 ± 5.2 y 1787 ± 7 g; $p < 0.05$) sobre la edad de la pubertad (185.8 ± 1.2, 184.9 ± 0.6, 183.4 ± 0.9 d), respectivamente; pero, las cerdas primerizas con menor peso al nacimiento tuvieron las mayores tasas de eliminación debido al anestro (22.9 %) y aquellas que pesaron menos de 1.3 kg produjeron significativamente menos cerdos (≤ 4.5) en tres partos en comparación con sus contrapartes más pesadas (Magnabosco *et al.*, 2015, 2016). También, Flowers (2019) obtuvo resultados similares en un estudio realizado en granjas comerciales. Por su parte, Knauer (2016) en un estudio donde

agrupó a las cerdas primerizas en tres categorías de peso al nacimiento (≤ 1.0 kg, 1.1-1.4 y ≥ 1.5 kg), las proporciones de cerdas recruzadas después del sexto parto fueron 5.2, 20.3 y 28.4 %, respectivamente.

Cuadro 2. Peso promedio al nacimiento de las cerdas preseleccionadas como hembras de reemplazo.

Variable	Grupo de peso al nacimiento				Total	Valor de *p*
	≤ 1.1 kg	1.2 a 1.4 kg	1.5 a 1.6 kg	≥ 1.7 kg		
Lechonas, n	165	215	179	121	680	
Peso promedio al nacimiento, kg	0.944 ± 0.158 [a]	1.313 ± 0.078 [b]	1.543 ± 0.050 [c]	1.799 ± 0.122 [d]	1.370±0.312	0.001

a-d Literales diferentes indican diferencia estadística (Tukey, $p < 0.01$).

Cuadro 3. Influencia del peso al nacimiento en la tasa de retención de hembras primerizas a los 148 d de edad y en la tasa de servicio a los 262 y 317 d de edad.

Variable	Grupo de peso al nacimiento				Total	Valor de *p*
	≤ 1.1 kg	1.2 a 1.4 kg	1.5 a 1.6 kg	≥ 1.7 kg		
Lechonas preseleccionadas, n	165	215	179	121	680	
Lechonas desechadas, n (%)	62 (37.6)	54 (25.1)	37 (20.7)	30 (24.8)	183 (26.9)	
Lechonas seleccionadas, n (%)	103 (62.4) [a]	161 (74.9) [b]	142 (79.3) [b]	91 (75.2) [b]	497 (73.1)	0.003
Edad a la selección, d	148.1 ± 5.0	148.3 ± 5.5	147.7 ± 4.8	147.6 ± 2.8	147.9 ± 4.8	0.54
Cerdas servidas a una edad menor o igual a 264 días, n (%)	16 (15.5)	40 (24.8)	39 (27.5)	26 (28.6)	121 (24.3)	0.11
Cerdas servidas a una edad menor o igual a 317 días, n (%)	33 (32)	52 (32.3)	57 (40.1)	36 (39.6)	178 (35.8)	0.06

ab Literales diferentes en fila indican diferencia estadística (χ^2; $p < 0.01$)

Patterson *et al.* (2018), informaron una tasa de retención más baja dentro de los cuatro días posteriores al nacimiento, a los 24 y 70 días de edad, y en la preselección cuando analizaron primerizas nacidas de cerdas con un fenotipo de bajo peso al nacimiento (FBPN; peso promedio al nacer de la camada < 1.15 kg), basado en al menos dos partos sucesivos en comparación con categorías con más de 1.16 kg al nacimiento. Por el contrario, también se ha observado que las primerizas con un fenotipo de alto peso al nacimiento (FAPN) tienen más probabilidades de crecer excepcionalmente rápido, de modo que pueden ser inseminadas con demasiado peso, lo que perjudica su rendimiento reproductivo en los primeros cuatro partos (Patterson *et al.*, 2020).

Cuadro 4. Influencia del peso al nacimiento en el peso prepuberal, tasa de crecimiento y espesor de grasa dorsal.

Variable	Grupo de peso al nacimiento				Valor de *p*
	≤ 1.1 kg	1.2 a 1.4 kg	1.5 a 1.6 kg	≥ 1.7 kg	
Lechonas prepúberes, n	103	161	142	91	
Edad de las lechonas a la medición del peso y EGD, d	148.13 ±4.93	148.30 ±5.54	147.66 ±4.76	147.56 ±2.75	0.54
Peso prepuberal, kg	63.76 ±4.55 [a]	67.79 ±13.84 [ab]	72.08 ±15.19 [b]	70.01 ±15.40 [b]	0.001
Tasa de crecimiento, kg	0.423 ±0.096 [a]	0.447 ±0.098 [ab]	0.477 ±0.101 [b]	0.462 ±0.103 [b]	0.001
Espesor de grasa dorsal, mm	7.5 ±1.7	7.7 ±1.5	7.7 ±1.4	7.7 ±1.4	0.76

ab Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística (Tukey; $p < 0.05$)

Cuadro 5. Influencia del peso al nacimiento en el desempeño de la cerda primeriza al primer servicio.

Variable	Grupo de peso al nacimiento				Valor de *p*
	≤ 1.1 kg	1.2 a 1.4 kg	1.5 a 1.6 kg	≥ 1.7 kg	
Cerdas, n	33	52	57	36	
Edad a la pubertad, d	232.24 ±28.15	221.87 ±29.55	221.91 ±31.25	229.56 ±28.31	0.27
Edad al primer servicio, d	263.42 ±34.13 [a]	249.46 ±29.42 [b]	251.95 ±26.75 [ab]	249.42 ±25.11 [b]	0.05
Peso al primer servicio, kg	152.28 ±9.89 [ab]	148.85 ±11.81 [a]	154.59 ±11.60 [ab]	156.35 ±12.88 [b]	0.02

ab Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística (LSD; $p < 0.05$)

Amaral Filha *et al.* (2010), observaron que en las cerdas primerizas con más de 170 kg de peso en el primer servicio disminuyó la tasa de parto en el segundo parto, y tenían riesgo de baja retención y mayores problemas de patas en tres partos. Por lo tanto, es posible que sea necesario reducir la velocidad de las cerdas primerizas que tienen un alto peso al nacimiento y una tasa de crecimiento excepcional para evitar que se vuelvan demasiado pesadas al momento del primer servicio. En conjunto, estos datos sugieren que la selección de cerdas de reemplazo debe comenzar al nacer, evitando camadas de origen con un fenotipo al nacimiento extremadamente bajo o alto.

Existe consenso en que las cerdas primerizas con bajo peso al nacimiento tienen una mayor mortalidad antes del destete (Magnabosco *et al.*, 2015) y aquellas cerdas primerizas que sobreviven más allá de la fase de destete tienen un crecimiento deficiente hasta el final y son significativamente más livianas que sus compañeras de camada con mayor peso al nacimiento (Almeida *et al.*, 2017), lo que coincide con los resultados observados en el presente estudio.

Las lechonas con bajo peso al nacimiento se ven comprometidas, ya que generalmente tienen menores reservas de energía, peor capacidad termorreguladora, menor vitalidad

y capacidad para adquirir calostro porque están debilitadas y son menos competitivas durante la lactancia (Declerck *et al*., 2016). La ingesta adecuada de calostro desempeña un papel importante en la promoción de la salud, el crecimiento y la supervivencia de los cerdos recién nacidos, lo que puede mejorar el rendimiento reproductivo posterior (Vallet *et al*., 2015; Declerck *et al*., 2016; Wiegert *et al*., 2017). Bartol *et al*. (2013), sugirieron una relación positiva entre la ingesta de calostro y el desarrollo uterino. La ingesta de calostro también tiene un papel esencial en la tasa de crecimiento, siendo los cerdos que consumen al menos 250 g de calostro más pesados a los 42 días de edad que aquellos que consumen menos de 250 g (Herpin *et al*., 2002; Ferrari *et al*., 2014). Knauer (2016), observó que el aumento de la tasa de crecimiento antes del destete aumentaba la proporción de cerdas primerizas que finalmente parían una camada.

Desde un punto de vista reproductivo, un inmunocrito sanguíneo bajo (una medida objetiva de la ingesta de inmunoglobulinas) en el primer día se asoció con un crecimiento reducido, una mayor edad en la pubertad, un número reducido de lechones nacidos vivos y una tasa de crecimiento previa al destete reducida (Vallet *et al*., 2015); sugiriendo, que puede ser beneficioso implementar estrategias de crianza cruzada en todas las futuras cerdas de reemplazo para mejorar la cantidad de calostro ingerido por los lechones neonatos y, en consecuencia, las tasas de crecimiento predestete, lo que sería beneficioso para las futuras cerdas de reemplazo. Una reducción en el tamaño de la camada en la que se crían las cerdas de reemplazo es otra técnica de manejo que puede aumentar el crecimiento general, mejorar el desarrollo temprano de los órganos reproductivos y, por lo tanto, aumentar la longevidad y el rendimiento (Nelson y Robinson,1976; Deligeorgis *et al*., 1985; Flowers, 2009)

La alta variabilidad en el peso al nacer de los lechones se ha convertido en un evento común en el curso de la selección genética de cerdas altamente prolíficas (Wolf *et al*., 2008). La producción de camadas numerosas conlleva un menor peso medio al nacer, aumentando el número de lechones nacidos con un peso inferior a 1 kg (Almeida *et al*., 2014). El bajo peso al nacer tiene un impacto negativo en el crecimiento de los lechones (Beaulieu *et al*., 2010; Alvarenga *et al*., 2012), lo que resulta en un mayor riesgo de mortalidad y sacrificio (Wolf *et al*., 2008; Almeida *et al*., 2014).

Los lechones nacidos en camadas numerosas, como es el caso en las hembras hiperprolíficas, están sujetos a cierto grado de restricción del crecimiento intrauterino (RCIU). Este fenómeno afecta el desarrollo de los fetos en el útero porque compiten por los nutrientes (Ashworth *et al.*, 2001) y tiene implicaciones negativas para la fisiología postnatal (Wu *et al.*, 2006). La expresión fenotípica más común de la RCIU es la variación en el peso de los lechones al nacimiento (Foxcroft *et al.*, 2009), que puede ser extremo para líneas genéticas hiperprolíficas (Patterson *et al.*, 2020).

Se ha informado que las condiciones de manejo a las que se someten las cerdas primerizas antes y después del nacimiento tienen efectos importantes y duraderos en su desempeño reproductivo cuando son adultas, ya que los eventos clave del desarrollo comienzan durante la última parte de la gestación y terminan 90 d después del nacimiento (Flowers, 2012). Estos sientan las bases de qué tan bien el cerebro y los órganos reproductivos se comunicarán entre sí durante la fase funcional de la vida reproductiva (Pressing *et al.*, 1992; Morbeck *et al.*, 1993). El mal manejo durante este período, muy probablemente, introduce ineficiencias reproductivas permanentes que serán difíciles de revertir más adelante durante la fase funcional (Flowers, 2012). Se ha observado que existen relaciones positivas entre el peso al nacer y el tamaño de la mayoría de los órganos internos, incluidos el cerebro, los intestinos, el hígado y la cantidad de fibras en algunos músculos esqueléticos (Gondret *et al.*, 2005; Foxcroft *et al.*, 2009).

Tasa de crecimiento

Los resultados de la influencia de la TC prepuberal (148 d edad) en la edad a la pubertad, edad al primer servicio y en la respuesta del estímulo del semental en la presentación de la pubertad se muestra en el Cuadro 6. Las lechonas con TC menor a 501 g/d expresaron la pubertad a una edad mayor (237 *vs.* 214 d; $p = 0.001$) y tuvieron un intervalo de tiempo más prolongado entre el inicio de la estimulación con el semental y la manifestación del estro observado (88 *vs.* 63 d; $p = 0.001$). Las cerdas primerizas con TC superior a los 0.500 kg/d recibieron el primer servicio a una edad menor ($p = 0.001$), 231 *vs.* 272 y 256 d en las cerdas con TC ≤ 0.400 y entre 0.401-0.500 kg/d, respectivamente.

Al analizar la TC desde el nacimiento hasta el momento del primer servicio (Cuadro 7) se observó que las cerdas con TC superior a los 0.500 kg/d tuvieron menor edad a la

pubertad (p = 0.001). Las cerdas con TC superior a los 0.700 kg/d presentaron la pubertad a los 209 d de edad, 46 d menos respecto de las que tuvieron una TC menor a 0.500 kg/d. También el intervalo entre inicio de estimulación de celo con presencia de semental y la manifestación de estro fue menor en las cerdas con una TC de 0.501 a 0.600, 601 a 0.700 y mayores a 0.701 kg/d (82, 66 y 60 d, respectivamente), en comparación con las cerdas primerizas que tuvieron una TC menor a los 0.500 kg/d, las que mostraron estro a los 104 d postestimulación. La edad al servicio fue menor (p = 0.001) en las cerdas con TC superior 0.700 kg/d respecto de las que tuvieron TC menor a 0.500, 0.501 a 0.600 y de 601 a 0.700 kg/d (219 *vs.* 309, 263 y 239 d; respectivamente); de igual manera, en las cerdas con mayor TC se observó un mayor (p = 0.001) EGD (15.5 *vs.*13, 13 y 15 mm; respectivamente).

Cuadro 6. Influencia de la tasa de crecimiento a los 148 d y estímulo del semental en la de edad de presentación de la pubertad y edad al primer servicio en la cerda primeriza.

Variable	Tasa de crecimiento				Valor de p
	≤ 0.400 kg/d	0.401-0.500 kg/d	0.501-0.600 kg/d	≥ 0.601 kg/d	
Cerdas, n	53	57	52	16	
Edad a la pubertad, d	236.66 ±35.76 [a]	229.26 ±27.63 [a]	213.12 ±21.64 [b]	213.81 ±19.01 [b]	0.001
Intervalo estimulación con el semental a presentación de celo, d	87.79 ±36.41 [a]	79.40 ±28.40 [a]	62.15 ±23.10 [b]	62.56 ±17.54 [b]	0.001
Edad al primer servicio, d	272.06 ±29.17 [a]	255.53 ±25.52 [b]	237.12 ±19.97 [c]	230.69 ±20.95 [c]	0.001

ab Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística (LSD; p < 0.05)

Tummaruk *et al*. (2009a), observaron que la edad promedio al primer apareamiento en primerizas varía entre las cerdas primerizas de las explotaciones comerciales, de 198 a 268 d; en tanto que Joab (2019), informó que el rango varía desde los 170 hasta los 260 días de edad. Lo que es consistente con los resultados observados en el presente estudio; sin embargo, en el presente estudio la tasa de servicio a una edad menor a los 317 y 262 d fue de 35.8 y 24.3 %, respectivamente, en relación con las cerdas seleccionadas como reemplazos a los 148 d de edad; esto, debido probablemente a que la tasa de crecimiento promedio fue menor a los 0.500 kg/d. Además, las cerdas que tuvieron una tasa de crecimiento menor a los 0.500 kg/d fueron servidas a una edad promedio de 309 días, en tanto que las que, las que tuvieron una TC entre 0.501 a 0.600,

0.601 a 0.700 y mayores a 0.700 kg/d, fueron servidas a edades promedio de 263, 239 y 220 d, respectivamente.

Cuadro 7. Influencia de la tasa de crecimiento desde el nacimiento hasta el momento del servicio en la edad a la pubertad y al primer servicio de la cerda primeriza.

Variable	Tasa de crecimiento				Valor de *p*
	≤ 0.500 kg/d	0.501-0.600 kg/d	0.601-0.700 kg/d	≥ 0.701 kg/d	
Cerdas, n	14	77	68	19	
Tasa de crecimiento, kg/d	0.474 ±0.02 [a]	0.577 ±0.023 [b]	0.649 ±0.028 [c]	0.737 ±0.034 [d]	0.001
Edad a la pubertad, d	254.86 ±41.01 [a]	231.21 ±30.73 [b]	217.22 ±22.90 [bc]	209.05 ±12.91 [c]	0.001
Intervalo estimulación con el semental a presentación de celo, d	104.0 ±41.62 [a]	82.0 ±32.48 [b]	66.06 ±23.29 [c]	60.53 ±12.38 [c]	0.001
Edad al primer servicio, d	308.93 ±28.99 [a]	262.77±20.40 [b]	239.32 ±16.78 [c]	219.63 ±10.32 [d]	0.001
Espesor de grasa dorsal al primer servicio, mm	13.36 ±3.95 [a]	12.93 ±2.85 [a]	14.98 ±3.02 [ab]	15.55 ±2.60 [b]	0.001

Edad de inicio de estimulación = 150 ±4.77 d. [a-d] Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística (Tukey; $p < 0.05$)

Kummer *et al.* (2009), observaron que las primerizas con tasas de crecimiento más rápidas en el momento de la exposición al verraco alcanzaron la pubertad antes que las contrapartes de crecimiento más lento, lo que es consistente con los resultados observados en el presente estudio. En relación con esto, se ha observado que las primerizas contemporáneas con mayor peso corporal en el momento de la exposición al verraco llegaron a la pubertad a una edad más joven (King, 1989), lo que sugiere que el crecimiento rápido y, como resultado, el peso corporal en etapas específicas o edad de desarrollo podría ser predictivo de la edad de la pubertad.

Se ha sugerido que la estimulación del celo en las cerdas primerizas por el verraco inicie entre los 150 y 170 d de edad para lograr que al menos el 80 % de las primerizas alcancen la pubertad después de 30 d de exposición al verraco (Amaral Filha *et al.*, 2009).

La edad al primer servicio en las cerdas primerizas influye en su rendimiento reproductivo posterior y en su longevidad (Koketsu *et al.*, 1999; Tummaruk *et al.*, 2001; Patterson *et al.*, 2010). Se ha informado que, cuando el apareamiento se realiza entre los 185 y los 209 d de edad, en lugar de después de los 210 d, la tasa de parto, la tasa de descarte y el total de lechones nacidos producidos en tres partos no se vieron afectados negativamente en las cerdas primerizas con una tasa de crecimiento de más de 700 g/d (Kummer *et al.*, 2006). PIC (2022), recomienda que el primer servicio de las cerdas

primerizas Camborough® se realice entre los 200 a 225 d de edad, con un peso objetivo de 135 a 160 kg y una tasa de crecimiento entre 600 a 800 g/d, y en el segundo o tercer estro. El retraso en la edad de la primera cubrición de las cerdas primerizas aumenta los días no productivos (DNP) desde la entrada hasta la concepción e influye en su desempeño reproductivo posterior (Tummaruk *et al*., 2007). Además, con base en la evaluación económica, Schukken *et al*. (1994) determinaron que las primerizas en América del Norte deben aparearse antes de los 220 d de edad. En Japón, Koketsu *et al.* (1999) observaron que las primerizas apareadas después de los 230 d de edad tuvieron bajo desempeño reproductivo posterior y menor longevidad. Así, las cerdas primerizas apareadas a una edad más avanzada tienen una vida reproductiva más corta y un mayor riesgo de ser sacrificadas debido a problemas de infertilidad (Young *et al*. 2008). Además, Tummaruk *et al.* (2007) observaron que las cerdas primerizas que exhibieron el primer estro permanente entre los 180 y 200 d de edad tuvieron un tamaño de camada más grande en los primeros tres partos que las que expresaron el primer estro entre 201 y 220 d de edad. Estos hallazgos indican la importancia del manejo de las cerdas primerizas, así como la primera decisión de apareamiento para su desempeño reproductivo posterior. En el presente estudio se observó las cerdas que tuvieron una TC superior a los 0.600 kg/d llegaron a la pubertad entre los 209 a 217 d de edad y fueron servidas entre los 219 y 239 de edad, lo que es consistente con los resultados obtenidos en estudios previos.

Espesor de grasa dorsal

La influencia del EGD en la edad a la pubertad y al primer servicio en la cerda primeriza se muestra en el Cuadro 8. Las cerdas primerizas que tuvieron mayor EGD (≥ 15.5 mm) al momento del primer servicio presentaron la pubertad a menor edad (217 *vs.* 226, 227 y 239 d; $p = 0.03$) respecto de las cerdas con 13 a 15, 10.5 a 12.5 y ≤ 10 mm de EGD; además, estas cerdas tuvieron un intervalo menor entre el inicio de la estimulación con el semental y la manifestación del estro (67 *vs.* 75, 78 y 91 d; $p = 0.02$), respectivamente. Sin embargo, las cerdas fueron servidas a edades similares. La edad al servicio no fue diferente, quizá, debido a que fue una decisión de manejo más que con base en la madurez fisiológica de la cerda. Por otro lado, se observó que las cerdas con una tasa de crecimiento al momento del servicio superior a 0.600 kg/d tuvieron un mayor EGD (≥

15 mm), un intervalo menor entre el inicio de la estimulación con el semental y la presentación de celo, así como una edad menor a la pubertad y al primer servicio ($p < 0.001$; Cuadro 7).

Cuadro 8. Influencia del espesor de la grasa dorsal al momento del servicio en el desempeño de la cerda primeriza.

Variable	Grupo de espesor de grasa dorsal (mm)				Valor de *p*
	≤ 10	10.5 a 12.5	13 a 15	≥ 15.5	
Cerdas, n	22	49	53	54	
Edad a la pubertad, d	239.09 ±29.62 [a]	227.49 ±26.48 [ab]	225.98 ±34.70 [ab]	217.22 ±25.12 [b]	0.03
Intervalo estimulación con el semental a presentación de celo, d	91.0 ±31.38 [a]	77.73 ±28.07 [ab]	74.92 ±35.36 [ab]	67.22 ±25.32 [b]	0.02
Edad al primer servicio, d	256.23 ±27.21	256.06 ±24.29	249.26 ±32.51	252.04 ±30.10	0.63

ab Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística (Tukey; $p < 0.05$)

Al respecto, se ha demostrado que las cerdas primerizas con mayor EGD alcanzan la pubertad más rápido que aquellas con menor EGD (Nelson *et al*., 1990; Roongsitthichai y Tummaruk, 2014; Kim *et al*., 2015). Esto indica que las cerdas nulíparas con alto contenido de grasa dorsal podrían ser servidas a más temprana edad que aquellas con menor contenido de grasa dorsal (Tummaruk *et al*., 2001). Rydhmer (2000), observó que las cerdas primerizas con alto EGD (17.8 mm), alimentadas *ad libitum*, alcanzan la pubertad a los 198 d de edad, mientras que aquellas con menor EGD (14.7 mm), restringidas al 80 % de alimento, alcanzan la pubertad a los 203 d de edad.

Las señales metabólicas son cruciales para el inicio de la pubertad (Barb *et al*., 1997). Se ha observado que algunas hormonas metabólicas están estrechamente relacionadas con la grasa dorsal y el logro de la pubertad (Rozeboom *et al*., 1995). La leptina y el factor I de crecimiento similar a la insulina (IGF-I) han sido reconocidos como reguladores del crecimiento y la diferenciación celular, el inicio de la pubertad y la composición corporal (Bidanel *et al*., 1996). La leptina es reconocida como una de las hormonas metabólicas del tejido adiposo, importante en la homeostasis energética y el logro de la pubertad (Campfield *et al*., 1995). La concentración sérica de leptina aumenta durante la pubertad en las cerdas primerizas (Qian *et al*., 1999; Hausman *et al*., 2012), antes de un aumento de la hormona luteinizante (LH) y los estrógenos (Barb *et al*., 2000). La leptina funciona como una señal metabólica permisiva para el inicio de la pubertad a través de la secreción de LH (Barb *et al*., 2005). Se ha observado, que un aumento en el EGD es proporcional

a un aumento (r = 0.476) en la concentración sérica de leptina (Considine *et al*., 1995; Berg *et al*., 2003). También, se ha determinado una asociación positiva entre el nivel de ARN mensajero de leptina y el EGD en los cerdos (Robert *et al*., 1998). En consecuencia, la leptina podría ser una señal metabólica del estado nutricional que activa el eje reproductivo. Esto explica por qué los cerdos con alto EGD alcanzan la madurez sexual antes que aquellos con bajo EGD.

Además, se ha observado una asociación positiva entre el EGD, la concentración sérica de IGF-I y la edad puberal en las cerdas nulíparas. Las cerdas primerizas con alta concentración sérica de IGF-I alcanzaron el inicio de la pubertad más rápido que aquellas con un nivel sérico bajo de IGF-I (< 153 *vs.* 168 a 180 d; $p < 0.05$) (Patterson *et al*., 2010); previamente, te Pas *et al*. (2004) observaron que el IGF-I es uno de los factores metabólicos significativos que afectan el inicio de la pubertad en los cerdos. Esto implica que las cerdas primerizas con alto nivel de IGF-I alcanzan la pubertad más rápido que aquellas con bajo nivel de IGF-I.

Las cerdas nulíparas con alto EGD (≥ 17.0 mm) en el día del apareamiento tuvieron un nivel sérico de IGF-I más alto (31.1 ±1.1 *vs.* 26.0 ±1.4 nmol/L, $p = 0.008$) que aquellas con bajo EGD (≤ 13.5 mm) (Roongsitthichai *et al*., 2013). En la mayoría de las especies de mamíferos, se ha observado que el IGF-I promueve la proliferación de las células de la granulosa, la producción de esteroides y crecimiento de los ovocitos (Silva *et al*., 2009). Esta información refleja las razones por las cuales las cerdas nulíparas con alto EGD adquieren la madurez sexual antes que aquellas con bajo EGD.

Índice de temperatura y humedad

La influencia del ITH durante la etapa de crecimiento (84 a 148 d de edad) y durante la etapa de desarrollo (149 a 268 d de edad) en el desempeño de la cerda primeriza se muestran en el Cuadro 9 y Cuadro 10, respectivamente.

Las cerdas que estuvieron en estado de confort (ITH ≤ 74), tanto en el periodo de 84 a 148 d y de 149 a 268 d de edad tuvieron una mayor tasa de crecimiento (0.497 *vs.* 0.456, 0.410 kg/d; $p = 0.001$) y (0.620 vs. 0.589, 0.567 kg/d; $p = 0.001$) en comparación con las cerdas primerizas en ITH > 74 < 78 y ≥ 78 < 84, respectivamente. El ITH en el que estuvieron las cerdas primerizas durante ambos periodos de tiempo también afectaron la

edad a la pubertad y al primer servicio. Las cerdas primerizas en estado de confort (ITH ≤ 74) presentaron la pubertad a edad menor (215 *vs.* 227, 235 d; p = 0.001) y (220 *vs.* 230, 239 d; p = 0.008), así como edad menor al primer servicio (238 *vs.* 250, 268 d; p = 0.001) y (247 vs. 260, 268 d; p = 0.001) en comparación con las cerdas primerizas en ITH > 74 < 78 y ≥ 78 < 84, durante las etapas de los 84 a 148 d y de los 149 a 268 d de edad, respectivamente. Lo anterior es consistente con diferentes estudios analizados por Renaudeau *et al.* (2011), quienes estimaron, en un metaanálisis, que la reducción en el consumo diario de alimento a temperaturas entre 20 a 30 °C fue de 9, 32 y 55 g/d por cada incremento de 1 °C en cerdos con 25, 50 y 75 kg de peso corporal, respectivamente. Le Dividich *et al.* (1998), informaron que el cambio en el consumo de alimento varió de 40 a 80 g/d por cada °C de incremento en la temperatura ambiental entre 20 y 30 °C.

Cuadro 9. Influencia del índice de temperatura y humedad durante la etapa de crecimiento (84 a 148 d de edad) en el desempeño de la cerda primeriza.

Variable	Índice de temperatura y humedad			Valor de p
	ITH ≤ 74	74 > ITH < 78	78 ≥ ITH < 84	
Cerdas, n	206	84	207	
Tasa de crecimiento, kg	0.497 ±0.092 [a]	0.456 ±0.092 [b]	0.410 ±0.095 [c]	0.001
Cerdas que llegaron a pubertad	79	18	81	
Edad a la pubertad, d	214.98 ±23.14 [a]	226.89 ±26.01 [ab]	235.15 ±32.89 [b]	0.001
Intervalo estimulación con el semental a presentación de celo, d	64.39 ±23.45 [a]	78.94 ±25.26 [ab]	85.23 ±34.53 [b]	0.001
Edad al primer servicio, d	238.39 ±21.38 [a]	249.78 ±23.66 [a]	267.61 ±29.34 [b]	0.001

ab Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística (Tukey; p < 0.05)

Cuadro 10. Influencia del índice de temperatura y humedad durante la etapa de desarrollo (149 a 268 d de edad) en el desempeño de la cerda primeriza.

Variable	Índice de temperatura y humedad			Valor de p
	ITH ≤ 74	74 > ITH < 78	78 ≥ ITH < 84	
Cerdas, n	109	44	25	
Tasa de crecimiento, kg	0.620 ±0.072 [a]	0.589 ±0.074 [ab]	0.567 ±0.072 [b]	0.001
Edad a la pubertad, d	220.23 ±27.07 [a]	230.48 ±28.79 [ab]	238.72 ±36.98 [b]	0.008
Intervalo estimulación con el semental a presentación de celo, d	70.37 ±28.22 [a]	79.16 ±29.88 [ab]	90.36 ±37.28 [b]	0.008
Edad al primer servicio, d	246.61 ±25.80 [a]	259.70 ±25.60 [ab]	267.92 ±38.89 [b]	0.001

[ab] Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística (Tukey; p < 0.05)

Cui & Gu (2015), observaron que el estrés calórico crónico leve (30 °C durante tres semanas) reduce la ingesta de alimento y la ganancia diaria de peso corporal en los cerdos de finalización en un 16 y 25 %, respectivamente; en paralelo, aumenta la temperatura rectal, la tasa de respiración y el cortisol plasmático, disminuye la triyodotironina libre en plasma y la hormona del crecimiento; estos parámetros son comúnmente considerados indicadores de las consecuencias del calor en la fisiología animal (Morera *et al.*, 2012). A diferencia del estrés agudo (40 - 42 °C, menos de 24 h), el estrés crónico (33 - 35 °C, más de 24 h), plantea un desafío distinto para los animales (Cui & Gu, 2015). Cui *et al.* (2016) y Ganesan *et al.* (2017) indicaron que la exposición a EC por más de 12 h provoca estrés oxidativo en los cerdos.

Renaudeau *et al.* (2011), concluyeron que el rendimiento de los cerdos disminuye a un ritmo acelerado a medida que aumenta la temperatura ambiental y que este efecto se observó en mayor medida en los trabajos contemporáneos, sugiriendo que los genotipos modernos podrían ser más sensibles al estrés por calor que los genotipos más antiguos con menor potencial de crecimiento. Debido a las mejoras en el rendimiento reproductivo de las cerdas, realizadas a lo largo de los últimos años (Boulot *et al.*, 2008), la producción de calor metabólico de los animales aumentó; en consecuencia, las cerdas son más sensibles a los efectos del estrés por calor (Bloemhof *et al.*, 2013). Sin embargo, la temperatura por sí sola no describe suficientemente el entorno climático de un animal (Nardone *et al.* 2006). Dentro de la zona termoneutral la humedad relativa es insignificante, pero se convierte en un factor determinante en condiciones de estrés por calor (Huynh *et al.*, 2005). Para describir los efectos ambientales sobre el animal, se han desarrollado y se aplican ampliamente varios índices, incluido el índice de temperatura-humedad (ITH) (Brügemann *et al.*, 2012). De acuerdo con Mader *et al.* (2006), el ITH se obtiene mediante la fórmula [0.8 x temperatura ambiente + [(% HR/100) x (temperatura ambiente – 14.4)] + 46.4]; cuyo resultado, al combinar el efecto de la temperatura ambiental con el de la humedad relativa (HR) del aire, indica el nivel de confort o estrés fisiológico al que el organismo animal está sujeto durante distintos periodos de tiempo; el nivel de confort o estrés se expresa numéricamente de la siguiente manera: estado de confort (ITH ≤ 74), estado de alerta fisiológica (74 > ITH < 78), estado de peligro fisiológico (78 ≥ ITH < 84) y estado de emergencia fisiológica (ITH ≥ 84). Es común, que, en las

regiones tropicales del mundo, y de manera particular en el noroeste de México, durante la estación de verano y parte de la época de primavera y otoño, las cerdas estén expuestas a estrés calórico crónico (76.5 > ITH < 87.4; Romo-Valdez *et al*., 2024), lo que afecta su rendimiento productivo y reproductivo.

Los cerdos estresados por carga calórica generalmente tienen un nivel de actividad deprimido, su comportamiento conductual es estar acostado y, por lo tanto, tienen menos períodos de alimentación y actividad física, por lo que disminuyen la ingesta de alimento para reducir la producción metabólica de calor y mantener la homeotermia, lo que resulta en un crecimiento más lento (Cross *et al*., 2020). Cuando las condiciones ambientales exceden la zona termoneutral del cerdo los nutrientes se desvían de la síntesis de productos (carne, feto, leche), hacia el mantenimiento de la temperatura corporal, lo que compromete la eficiencia productiva (Ross *et al*., 2015). Las cerdas en estrés calórico reducen su consumo de alimento (Renaudeau *et al*., 2012), lo que consecuentemente, produce un balance energético negativo, pérdida de la condición corporal y problemas reproductivos asociados a la función ovárica inadecuada, que se manifiesta en anestro, expresión débil o irregular del estro, ciclos estrales irregulares, pubertad retrasada, intervalo prolongado de destete a celo, mayores tasas de aborto, bajo índice de partos y tamaño pequeño de camada al nacimiento y al destete; así como, disminución en la producción de leche, que puede afectar negativamente el crecimiento de los lechones durante la lactancia y su peso al destete.

VIII. CONCLUSIONES

Los resultados observados permiten concluir que las lechonas preseleccionadas con un peso al nacimiento menor a 1.1 kg tienen una menor tasa de selección; así como una tasa de crecimiento menor a los 140 d de edad y al momento del servicio.

Las cerdas primerizas con una tasa de crecimiento mayor a los 0.601 kg/d, desde el nacimiento hasta el primer servicio, presentan la pubertad y son servidas a una edad menor; además, tienen mayor espesor de grasa dorsal al momento del primer servicio.

Las cerdas primerizas con mayor EGD (> 15 mm) presentan la pubertad y son servidas a edad menor.

Cuando la cerda primeriza está en un ITH ≥ 74 disminuye su tasa de crecimiento, retarda la presentación de la pubertad y son servidas a una edad mayor.

En general, las cerdas con mayor tasa de crecimiento y espesor de grasa dorsal, así como aquellas que estuvieron en un ITH menor a 74, entre los 84 y 268 d edad, presentaron un intervalo menor entre el inicio de la estimulación con el semental y la presentación pubertad.

Estas variables deben ser consideradas en un programa de selección y manejo de cerdas primerizas hiperprolíficas, criadas en ambientes cálidos, con el objetivo de elevar el porcentaje de primerizas servidas a una edad menor a los 240 d.

IX. LITERATURA CITADA

ALMEIDA F, Dias AA, Moreira LP, Fiúza ATL, Chiarini-Garcia H. 2017. Ovarian follicle development and genital tract characteristics in different birthweight gilts at 150 days of age. Reproduction in Domestic Animals; 52:756–762. https://doi.org/10.1111/rda.12976

ALMEIDA M, Bernardi ML, Motta AP, Bortolozzo FP, Wentz I. 2014. Effect of birth weight and litter size on the performance of landrace gilts until puberty. Acta Scientiae Veterinariae; 42:1182. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=289029240032

ALVARENGA ALN, Chiarini-Garcia H, Cardeal PC, Moreira LP, Foxcroft GR, Fontes DO, Almeida FRCL. 2012. Intra-uterine growth retardation affects birth weight and postnatal development in pigs, impairing muscle accretion, duodenal mucosa morphology and carcass straits. Reproduction, Fertility and Development; 25:387-395. https://doi.org/10.2527/jas.2009-2222

AMARAL FILHA WS, Bernardi ML, Wentz I, Bortolozzo F.P. 2009. Growth rate and age at boar exposure as factors influencing gilt puberty. Livestock Science; 120:51–57. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.04.009

AMARAL FILHA WS, Bernardi ML, Wentz I, Bortolozzo FP. 2010. Reproductive performance of gilts according to growth rate and backfat thickness at mating. Animal Reproduction Science; 121(1-2):139-144. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.05.013

ASHWORTH CJ, Finch AM, Page KR, Nwagu MO, McArdle HJ. 2001. Causes and consequences of fetal growth retardation in pigs. Reproduction Supplement; 58:233-246. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11980193/

BAKER J, Hardy MP, Zhou J, Bondy C, Lupu F, Bellve AR, Efstratiadis A. 1996. Effects of an Igf1 gene null mutation on mouse reproduction. Molecular Endocrinology; 10(7): 903-918. https://doi.org/10.1210/REPARAR.10.7.8813730

BARB CR, Hausman GJ, Czaja K. 2005. Leptin: a metabolic signal that affects the central regulation of reproduction in the pig. Domestic Animal Endocrinology; 29(1):186-192. https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2005.02.024

BARB CR, Kraeling RR, Rampacek GB, Dove CR. 1997. Metabolic changes during the transition from the fed to the acute feed-deprived state in prepuberal and mature gilts. Journal of Animal Science; 75(3):781-789. https://doi.org/10.2527/1997.753781x

BARB CR, Kraeling RR, Rampacek GB, Estienne MJ. 2000. Current concepts of the onset of puberty in the gilt. Reproduction in Domestic Animals; 35:82–88. https://eurekamag.com/research/003/396/003396549.php

BARB CR, Kraeling RR. 2004. Role of leptin in the regulation of gonadotropin secretion in farm animals. Animal Reproduction Science; 82-83: 155-167. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.032

BARTOL FF, Wiley AA, Miller DJ, Silva AJ, Roberts KE, Davolt MLP, Chen JC, Frankshun AL, Camp ME, Rahman KM, Vallet JL, Bagnell CA. 2023. Lactation biology symposium: Lactocrine signaling and developmental programming. Journal of Animal Science; 91:696–705. https://doi.org/10.2527/jas.2012-5764

BEAULIEU AD, Aalhus JL, Williams NH, Patience JF. 2010. Impact of piglet birth weight, birth order, and litter size on subsequent growth performance, carcass quality, muscle composition, and eating quality of pork. Journal of Animal Science; 88(8):2767-2778. https://doi.org/10.2527/jas.2009-2222

BELTRANENA E, Aherne FX, Foxcroft GR. 1993. Innate variability in sexual development irrespective of body fatness in gilts. Journal of Animal Science; 71:(2):471–480. https://doi.org/10.2527 /1993.712471x

BERG EP, McFadin EL, Maddock RR, Goodwin N, Baas TJ, Keisler DH. 2003. Serum concentrations of leptin in six genetic lines of swine and relationship with growth and carcass characteristics. Journal of Animal Science; 81(1):167-171. https://doi.org/10.2527/2003.811167x

BIDANEL J, Gruand J, Legault C. 1996. Genetic variability of age and weight at puberty, ovulation rate and embryo survival in gilts and relations with production traits. Genetics Selection Evolution; 28(1):1-13. https://doi.org/10.1186/1297-9686-28-1-103

BLACK JL, Mullan BP, Lorschy ML, Giles LR. 1993. Lactation in the sow during heat stress. Livestock Production Science; 35:153–170. https://doi.org/10.1016/0301-6226(93)90188-N

BLOEMHOF S, Mathur PK, Knol EF, van der WaaiJ EH. 2013. Effect of daily environmental temperature on farrowing rate and total born in dam line sows. Journal of Animal Science; 91:2667–2679. https://doi.org/10.2527/jas.2012-5902

BOULOT S, Quesnel H, Quiniou N. 2008. Management of high prolificacy in French herds: Can we alleviate side effects on piglet survival. Proceedings of 37th BANFF Pork Seminar, Edmonton, Canada. https://www.researchgate.net/publication/228616315_Management_of_High_Prolificacy_in_French_Herds_Can_We_Alleviate_Side_Effects_on_Piglet_Survival#fullTextFileContent

BRINKLEY HJ, Young EP. 1968. Determination of the in Vivo Rate of Progesterone Secretion by the Ovary of the Pig During the Luteal Phase of the Estrous Cycle1. Endocrinology; 82(2):203–208. https://doi.org/10.1210/endo-82-2-203

BRÜGEMANN K, Gernand E, König von Borstel U, König S. 2012. Defining and evaluating heat stress thresholds in different dairy cow production systems. Archiv für Tierzucht; 55:13–24. https://doi.org/10.5194/aab-55-13-2012

BUNZ AMG, Bunter KL, Morrison RS, Luxford BG, Hermesch S. 2019. Differences in farrowing rate according to parity and trait specific temperature groupings around mating events. Advances in Animal Biosciences. Manipulating Pig Production XVII: Proceedings of the Fourteenth Biennial Conference of the Australasian Pig Science Association. 10 (suppl 1):9. https://rune.une.edu.au/web/handle/1959.11/29083

CAMPFIELD LA, Smith FJ, Guisez Y, Devos R, Burn P. 1995. Recombinant mouse OB protein: evidence for a peripheral signal linking adiposity and central neural networks. Science. 269(5223): 546-549. https://doi.org/10.1126/ciencia.7624778

CHARETTE R, Bigras-Poulin M, Martineau G. 1996. Body condition evaluation in sows. Livestock Production Science; 46:107-115. https://doi.org/10.1016/0301-6226(96)00022-X

CHEHAB FF, Mounzih K, Lu R, Lim ME. 1997. Early onset of reproductive function in normal female mice treated with leptin. Science. 275(5296): 88-90. https://doi.org/10.1126/ciencia.275.5296.88

CONSIDINE RV, Considine EL, Williams CJ, Nyce MR, Magosin SA, Bauer TL, Rosato EL, Colberg J, Caro JF. 1995. Evidence against either a premature stop codon or the

absence of obese gene mRNA in human obesity. The Journal of Clinical Investigation; 95(6): 2986-2988. https://doi.org/10.1172/JCI118007

CROSS AJ, Brown-Brandl TM, Keel BN, Cassady JP, Rohrer GA. 2020. Feeding behavior of grow-finish swine and the impacts of heat stress. Translational Animal Science; 4(2):986–992. https://doi.org/10.1093/tas/txaa023

CUI Y, Gu X. 2015. Proteomic changes of the porcine small intestine in response to chronic heat stress. Journal of Molecular Endocrinology; 55(3):277-293. https://doi.org/10.1530/JME-15-0161

CUI Y, Hao Y, Li J, Bao W, Li G, Gao Y, Gu X. 2016. Chronic Heat Stress Induces Immune Response, Oxidative Stress Response, and Apoptosis of Finishing Pig Liver: A Proteomic Approach. International Journal of Molecular Science; 17(5):393-416. https://doi.org/10.3390/ijms17050393

DE ALMEIDA M, Bernardi ML, Pinheiro MA, Pandolfo BF; Wentz I. 2014. Effect of Birth Weight and Litter Size on the Performance of Landrace Gilts until Puberty. Acta Scientiae Veterinariae; 42(1):1-8. https://www.redalyc.org/pdf/2890/289029240032.pdf

DECLERCK I, Dewulf J, Sarrazin S, Maes D. 2016. Long-term effects of colostrum intake in piglet mortality and performance. Journal of Animal Science; 94:1633–1643. https://doi.org/10.2527/jas.2015-9564

DELIGEORGIS SG, English PR, Lodge GA, Foxcroft GR. 1985. Interrelationships between growth, gonadotrophin secretion and sexual maturation in gilts reared in different litter sizes. Animal Production; 41(3):393-401 https://doi.org/10.1017/S0003356100036461

ENGBLOM L, Díaz JAC, Nikkilä M, Gray K, Harms P, Fix J, Tsuruta S, Mabry J, Stalder K. 2016. Genetic analysis of sow longevity and sow lifetime reproductive traits using censored data. Journal of Animal Breeding and Genetics; 133(2):138-144. https://doi.org/10.1111/jbg.12177

ENGBLOM L, Lundeheim N, Dalin AM, Andersson K. 2007. Sow removal in Swedish commercial herds. Livestock Science; 106:76–86. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.07.002

ENGBLOM L, Lundeheim N, Strandberg E, Schneider M del P, Dalin AM, Andersson K. 2008. Factors affecting length of productive life in Swedish commercial sows. Journal of Animal Science; 86:432–441. https://doi.org/10.2527/jas.2007-0310

EVANS A, O'Doherty J. 2001. Endocrine changes and management factors affecting puberty in gilts. Livestock Production Science; 68(1):1-12. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00202-5

FERRARI CV, Sbardella PE, Bernardi ML, Coutinho ML, Vaz IS, Wentz I, Bortolozzo FP. 2014. Effect of birth weight and colostrum intake on mortality and performance of piglets after cross-fostering in sows of different parities. Preventive Veterinary Medicine; 114:259-266. https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.02.013

FLOWERS W.L. 2009. Effect of Neonatal Litter Size and Early Puberty Stimulation on Sow Longevity and Reproductive Performance. NPB 05-082 National Pork Board Reseach Report. https://www.pork.org/research/effect-of-neonatal-litter-size-and-early-puberty-stimulation-on-sowlongevity-and-reproductive-performance/

FLOWERS WL. 2012. Possible physiological benchmarks for sow longevity prior to puberty. Allen D. Leman Swine Conference; 29:113-117. https://conservancy.umn.edu/bitstream/handle/11299/139383/Flowers.pdf

FLOWERS WL. 2019. Reproductive management of swine. In GC Lamb, FW Bazer, G. Wu (Eds.). Animal agriculture: Sustainability, challenges, and innovations (pp. 283–288). Elsevier. ISBN: 978-0-12-817052-6. https://doi.org/10.1016/C2018-0-01238-4

FOX J, Weisberg S (2019). An R Companion to Applied Regression, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA. https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/

FOXCROFT G, Patterson J. 2010. Optimizing breeding management in a competitive world: Gilt and sow aspects. In Proceedings of the AASV 41st Annual Meeting, Omaha, NE, USA, 6–9 March 2010; pp. 3–16

FOXCROFT G, Van de Wiel D. 1982. Endocrine control of the oestrous cycle. In: Control of Pig Reproduction. DJA Cole and GR Foxcroft (ed). London: Butterworth Scientific. 161-177. https://www.elsevier.com/books/control-of-pig-reproduction/cole/978-0-408-10768-6

FOXCROFT GR, Dixon WT, Dyck MK, Novak S, Harding JCS, Almeida FCL. 2009. Prenatal programming of postnatal development in the pig. In: Control of Pig Reproduction

VIII. H. Rodriguez-Martinez, J.L. Vallet and A.J. Ziecik (eds). Nottingham University Press, Nottingham, UK, pp. 213–233. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19848290/

GANESAN S, Summers CM, Pearce SC, Gabler NK, Valentine RJ, Baumgard LH, Rhoads RP, Selsby JT. 2017. Short-term heat stress causes altered intracellular signaling in oxidative skeletal muscle. Journal of Animal Science; 95(6):2438-2451. https://doi.org/10.2527/jas.2016.1233

GARCÍA E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 3ª ed. México D.F. 91p. http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83

GARCIA MR, Amstalden M, Williams SW, Stanko RL, Morrison CD, Keisler DH, Nizielski SE, Williams GL. 2002. Serum leptin and its adipose gene expression during pubertal development, the estrous cycle, and different seasons in cattle. Journal of Animal Science; 80(8):2158-2167. https://doi.org/10.2527/2002.8082158x

GAUGHAN J, Cameron R, McL Dryden G, Josey M. 1995. Effect of selection for leanness on overall reproductive performance in Large White sows. Animal Science; 61 (3):561-564. https://doi.org/10.1017/S1357729800014144

GAUGHAN JB, Mader TL, Holt SM, Lisle A. 2008. A new heat load index for feedlot cattle. Journal of Animal Science; 86: 226-234. https://doi.org/10.2527/jas.2007-0305

GONDRET R, Lefaucher L, Louvea L, Lebret B, Pichodo X, Le Clozler Y. 2005. Influence of piglet birth weight on postnatal growth performance, tissue lipogenic capacity and muscle histological traits at market weight. Livestock Production Science; 93:137–146. https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.09.009

GROSS J, Ligges U. 2015. nortest: Tests for Normality_. R package version 1.0-4. https://CRAN.R-project.org/package=nortest; 2015

GRUHOT TR, Díaz JAC, Baas TJ, Dhuyvetter KC, Schulz LL, Stalder KJ. 2017. An economic analysis of sow retention in a United States breed-to-wean system. Journal of Swine Health Production; 25:238–246. https://www.aasv.org/shap/issues/v25n5/v25n5p238.pdf

HAUSMAN GJ, Barb CR, Lents CA. 2012. Leptin and reproductive function. Biochimie; 94(10): 2075-2081. https://doi.org/10.1016/j.biochi.2012.02.022

HERPIN P, Damon M, Le Dividich J. 2002. Development of thermoregulation and neonatal survival in pigs. Livestock Production Science; 78:25-45. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00183-5

HILLBRAND FW, Elsaesser F. 1983. Concentrations of progesterone in the backfat of pigs during the oestrous cycle and after ovariectomy. Journal of Reproduction and Fertility; 69(1): 73-80. https://doi.org/10.1530/jrf.0.0690073

HUYNH TTT, Aarnink AJA, Verstegen MWA, Gerrits WJJ, Heetkamp MJW, Kemp B, et al. 2005. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. Journal of Animal Science 83:1385–1396. https://doi.or10.2527/2005.8361385x

HUYNH TTT. 2005. Heat Stress in Growing Pigs. PhD. Thesis, Wageningen Institute of Animal Science, Wageningen UW, Netherlands. 168 p. https://edepot.wur.nl/121639

INEGI. 2009. Anuario Estadístico del Estado de Sinaloa. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, Aguascalientes, México. https://estadisticas.sinaloa.gob.mx/documentos/AnuarioEstad%C3%ADsticoSinaloa2009.pdf

JOAB Malanda. 2019. Determining the optimal age of breeding gilts and its impact on lifetime performance Literature review. Acta Agraria Debreceniensis; 1:15-20. https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/2363

KIM JS, Yang X, Pangeni D, Baidoo SK. 2015. Relationship between backfat thickness of sows during late gestation and reproductive efficiency at different parities. Acta Agriculturae Scandinavica; section A, Animal Science; 65:1–8. https://doi.org/10.1080/09064702.2015.1045932

KIM SW, Weaver AC, Shen YB, Zhao Y. 2013. Improving efficiency of sow productivity: nutrition and health. Journal of Animal Science and Biotechnology; 4:26. https://doi.org/10.1186/2049-1891-4-26

KING RH. 1989. Effect of live weight and body composition of gilts at 24 weeks of age on subsequent reproductive efficiency. Animal Production; 49:109-115. https://doi.org/10.1017/S0003356100004311

KNAUER M. 2016. Effects of preweaning factors on sow lifetime productivy (NPB 11-146) National Pork Board Research Report.

https://www.porkcheckoff.org/research/effects-of-preweaning-factorson-sow-lifetime-productivity/

KOKETSU Y, Takahashi H, Akachi K. 1999. Longevity, lifetime pig production and productivity, and age at first conception in a cohort of gilts observed over six years on commercial farms. Journal of Veterinary Medical Science; 61:1001–1005. https://doi.org/10.1292/jvms.61.1001

KUMMER R, Bernardi ML, Wentz I, Bortolozzo FP. 2006. Reproductive performance of high growth rate gilts inseminated at an early age. Animal Reproduction Science; 96:47–53. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2005.11.006

KUMMER R, Bernardi ML. Schenkel AC, Amaral FWS, Wentz I, Bortolozzo FP. 2009. Reproductive performance of gilts with similar age but with different growth rate at the onset of puberty stimulation. Reproduction in Domestic Animals; 44:255–259. https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2007.01050.x

LAMBERSON W, Safranski T, Bates R, Keisler D, Matteri R. 1995. Relationships of serum insulin-like growth factor I concentrations to growth, composition, and reproductive traits of swine. Journal of Animal Science; 73(11):3241-3245. https://doi.org/10.2527/1995.73113241x

Le DIVIDICH J, Noblet J, Herpin P, van Milgen J, Quiniou N.1998. Thermoregulation. In Progress in Pig Science. J. Wiseman,M. A. Varley, and J. P. Chadwick, ed. Nottingham Univ. Press, Nottingham, UK. ISBN: 9781897676264

LI Q, Yuan X, Chen Z, Zhang A, Zhang Z, Zhang H, Li J. 2018. Heritability estimates and effect on lifetime reproductive performance of age at puberty in sows. Animal Reproduction Science; 195: 207-215. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2018.05.025

LILLIEFORS HW. 1967. On the Kolmogorov-Smirnov Test for normality with mean and variance unknown. Journal of the American Statistical Association; 62(318):399-402. https://doi.org/10.2307/2283970

LIU F, de Ruyter EM, Athorn RZ, Brewster CJ, Henman DJ, Morrison RS, Smits RJ, Cottrell JJ, Dunshea FR. 2019. Effects of L-citrulline supplementation on heat stress physiology, lactation performance and subsequent reproductive performance of sows in summer. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition; 103:251–257. https://doi.org/10.1111/jpn.13028

LIU F, Zhao W, Le HH, Cottrell JJ, Green MP, Leury BJ, Dunshea FR, Bell AW. 2022. Review: What have we learned about the effects of heat stress on the pig industry? Animal. 16(2):100349. https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100349

LUCY MC, Safraski TJ. 2017. Heat stress in pregnant sows: Thermal responses and subsequent performance of sows and their offspring. Molecular Reproduction and Development; 84(9):946-956. https://doi.org/10.1002/mrd.22844

MADER TL, Davis MS, Brown-Brandl T. 2006. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. Journal of Animal Science; 84:712-719. http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1622&context=animalscifacpub

MAGNABOSCO D, Bernardi ML, Wentz I, Cunha ECP, Bortolozzo FP. 2016. Low birth weight affects lifetime productive performance and longevity of female swine. Livestock Science. 184:119–125. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.12.008

MAGNABOSCO D, Pereira Cunha EC, Bernardi ML, Wentz I, Bortolozzo FP. 2015. Impact of the Birth Weight of Landrace x Large White Dam Line Gilts on Mortality, Culling and Growth Performance until Selection for Breeding Herd. Acta Scientiae Veterinariae; 43:1–8. https://www.redalyc.org/pdf/2890/289039763008.pdf

MAGOWAN E, McCann M. 2006. A comparison of pig backfat measurements using ultrasonic and optical instruments. Livestock Science; 103(1):116-123. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.02.002

MAVROGENIS AP, Robison OW. 1976. Factors affecting puberty in swine. Journal of Animal Science; 42:1251–1255. https://doi.org/10.2527/jas1976.4251251x

MAYORGA EJ, Ross JW, Keating AF, Rhoads RP, Baumgard LH. 2020. Biology of heat stress; the nexus between intestinal hyperpermeability and swine reproduction. Theriogenology; 154:73-83. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2020.05.023

MCCRACKEN J. 1964. Plasma progesterone concentration after removal of the corpus luteum in the cow. Nature; 198: 507-508. https://doi.org/10.1530/jrf.0.0690073

MÉNDEZ RI, Namihira GR, Moreno AL, Sosa de MC. 1990. El protocolo de investigación: Lineamientos para su elaboración. Editorial Trillas. Segunda Edición. México. 200 pág. ISBN: 968-24-4100-S. https://biblioteca.xoc.uam.mx/docs/tid/mendez.pdf

MILLER PS, Moreno R, Johnson RK. 2011. Effects of restricting energy during the gilt developmental period on growth and reproduction of lines differing in lean growth rate: responses in feed intake, growth, and age at puberty. Journal of Animal Science; 89:342–54. https://doi.org/10.2527/jas.2010-3111

MOELLER SJ, Goodwin RN, Johnson RK, Mabry JW, Baas TJ, Robison OW. 2004. The National Pork Producers Council Maternal Line National Genetic Evaluation Program: a comparison of six maternal genetic lines for female productivity measures over four parities. Journal of Animal Science; 82:41–53. https://doi.org/10.2527/2004.82141x

MORBECK DE, Flowers WL, Britt JH. 1993. Response of porcine granulosa cells isolated from primary and secondary follicles to FSH, 8-bromo-cAMP and epidermal growth factor in vitro. Journal of Reproduction and Fertility; 99:577-584. https://doi.org/10.1530/jrf.0.0990577

MORERA P, Basiricò L, Hosoda K, Bernabucci U. 2012. Chronic heat stress up-regulates leptin and adiponectin secretion and expression and improves leptin, adiponectin and insulin sensitivity in mice. Journal of Molecular Endocrinology; 48(2):129-138. https://doi.org/10.1530/JME-11-0054

MYER R, Bucklin R. 2012. Influence of hot-humid environment on growth performance and reproduction of swine. University of Florida. AN107. Institute of Food and Agricultural Sciences Extension. Gainesville, FL. https://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AN/AN10700.pdf

NARDONE A, Ronchi B, Lacetera N, Bernabucci U. 2006. Climatic effects on productive traits in livestock. Veterinary Research Communications; 30:75–81. https://doi.org/10.1007/s11259-006-0016-x

NELSON A, Mabry J, Benyshek L, Marks M. 1990. Correlated response in reproduction, growth and composition to selection in gilts for extremes in age at puberty and backfat. Livestock Production Science; 24(3):237-247. https://doi.org/10.1016/0301-6226(90)90004-P

NELSON RE, Robinson OW. 1976. Effects of Postnatal Maternal Environment on Reproduction of Gilts. Journal of Animal Science; 43(1):71-77. https://doi.org/10.2527/jas1976.43171x

NEWTON EA, Mahan DC. 1992. Effect of feed intake during late development on pubertal onset and resulting body composition in crossbred gilts. Journal of Animal Science; 70:3774–3780. https://doi.org/10.2527/1992.70123774x

NONNEMAN D, Lents C, Rohrer G, Rempel L, Vallet J. 2013. Genome-wide association with delayed puberty in swine. Animal Genetics. 1-3. https://doi.org/10.1111/age.12087

PATTERSON J, Beltranena E, Foxcroft G. 2010. The effect of gilt age at first estrus and breeding on third estrus on sow body weight changes and long-term reproductive performance. Journal of Animal Science; 88(7):2500-2513. https://doi.org/10.2527/jas.2008-1756

PATTERSON J, Bernardi ML, Allerson M, Hanson A, Holden N, Bruner L, Pinilla JC, Foxcroft G. 2020. Associations among individual gilt birth weight, litter birth weight phenotype, and the efficiency of replacement gilt production. Journal of Animal Science; 98(11):1-3. https://doi.org/10.1093/jas/skaa331

PATTERSON J, Foxcroft G, Holden N, Allerson M, Hanson A, Triemert E, Bruner L, Pinilla JC. 2018. A low litter birth weight phenotype reduces the retention rate of potential replacement gilts. Journal of Animal Science; 96(Suppl. 2):62 (Abstr.). https://doi.org/10.1093/jas/sky073.115

PATTERSON J, Foxcroft G. 2019. Gilt management for fertility and longevity. Animals; 9(7):434. https://doi.org/10.3390/ani9070434

PATTERSON J, Triemert E, Gustafson B, Werner T, Holden N, Pinilla JC, Foxcroft G. 2016. Validation of the use of exogenous gonadotropins (PG600) to increase the efficiency of gilt development programs without affecting lifetime productivity in the breeding herd. Journal of Animal Science; 94:805–815. https://doi.org/10.2527/jas.2015-9705

PATTERSON JL, Willis HJ, Kirkwood RN, Foxcroft GR. 2002b. Impact of boar exposure on puberty attainment and breeding outcomes in gilts. Theriogenolgy; 57:215-225. https://rapp.ualberta.ca/wp-content/uploads/sites/23/2018/02/Patterson_etal_2002b_30.pdf

PATTERSON JL, Ball RO, Willis HJ, Aherne FX, Foxcroft GR. 2002a. The effect of lean growth rate on puberty attainment in gilts. Journal of Animal Science; 80:1299–1310. https://doi.org/10.2527/2002.8051299x

PIC. 2022. Cría de primerizas en el momento adecuado para optimizar el rendimiento. https://www.pic.com/2022/05/03/breeding-gilts-at-the-right-time/

PLUSH K, Glencorse D, Alexopoulos J, Tritton S, Kirkwood R, D'Souza D. 2019. Effect of Dextrose Supplementation in the Pre-Ovulatory Sow Diet to Reduce Seasonal Influences on Litter Birth Weight Variation. Animals; 9(12):1009. https://doi.org/10.3390/ani9121009

POMAR C, Fortin A, Marcoux M. 2002. Successive measurements of carcass fat and loin muscle depths at the same site with optical probes. Canadian Journal of Animal Science; 82(4): 595-598. https://doi.org/10.4141/A02-023

PRESSING A, Dial GD, Esbenshade KL, Stroud CM. 1992. Hourly administration of GnRH to prepubertal gilts: endocrine and ovulatory responses from 70 to 190 days of age. Journal of Animal Science; 70:232–242. https://doi.org/10.2527/1992.701232x

QIAN H, Barb CR, Compton MM, Hausman GJ, Azain MJ, Kraeling RR, Baile CA 1999. Leptin mRNA expression and serum leptin concentrations as influenced by age, weight, and estradiol in pigs. Domestic Animal Endocrinology; 16(2):135-143. https://doi.org/10.1016/s0739-7240(99)00004-1

RENAUDEAU D, Collin A, Yahav S, de Basilio V, Gourdine JL, Collier RJ. 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. Animal; 6(5):707-728. https://doi.org/10.1017/S1751731111002448

RENAUDEAU D, Gourdine JL, St-Pierre NR. 2011. A meta-analysis of the effects of high ambient temperature on growth performance of growing-finishing pigs. Journal of Animal Science; 89:2220–2230 https://doi.org/10.2527/jas.2010-3329

ROBERT C, Palin M-F, Coulombe N, Roberge C, Silversides FG, Benkel BF, McKay RM, Pelletier G. 1998. Backfat thickness in pigs is positively associated with leptin mRNA levels. Canadian Journal of Animal Science; 78(4):473-482. https://cdnsciencepub.com/doi/pdf/10.4141/A98-072

ROMO-VALDEZ J, Espinoza-Aguirre L, Peralta-Gómez I, Portillo-Loera J, Romo-Valdez A, Romo-Rubio J. 2024. Factores que influyen en la selección y desempeño de la cerda de reemplazo hiperprolífica. Memoria del VI Congreso Internacional Abanico Veterinario, Agroforestal, Ambiental, Pesquero, Acuícola y del Mar, 2024. https://abanicoacademico.mx/congreso/congreso-internacional-abanico-veterinario-agroforestal-y-pesquero/

ROONGSITTHICHAI A, Koonjaenak S, Tummaruk P. 2013. The association among age at first observed estrus, backfat thickness, and serum insulin–like growth factor–I in replacement gilts. Thai Journal of Veterinary Medicine; 43:41-48. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=TH2016003349

ROONGSITTHICHAI A., Tummaruk P. 2014. Importance of backfat thickness to reproductive performance in female pigs. Thai Journal of Veterinary Medicine; 44(2): 171-178. https://www.thaiscience.info/journals/Article/TJVM/10961891.pdf

ROSS JW, Hale BJ, Gabler NK, Rhoads RP, Keating AF, Baumgard LH. 2015. Physiological consequences of heat stress in pigs. Animal Production Science; 55(12):1381-1390. http://doi.org/10.1071/AN15267

ROZEBOOM DW, Pettigrew JE, Mosel RL, Cornelius SG, El Kandelgy SM. 1996. Influence of gilt age and body composition at first breeding on sow reproductive performance and longevity. Journal of Animal Science; 74:138–150. https://doi.org/10.2527/1996.741138x

ROZEBOOM DW, Pettigrew JE, Moser RL, Cornelius SG, el Kandelgy SM. 1995. Body composition of gilts at puberty. Journal of Animal Science; 73(9):2524-2531. https://doi.org/10.2527/1995.7392524x

RYDHMER L. 2000. Genetics of sow reproduction, including puberty, oestrus, pregnancy, farrowing and lactation. Livestock Production Science; 66(1):1-12. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00170-0

RYDHMER L. 2000. Genetics of sow reproduction, including puberty, oestrus, pregnancy, farrowing and lactation. Livestock Production Science; 66(1):1-12. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(99)00170-0

SAITO H, Sasaki Y, Koketsu Y. 2011. Associations between age of gilts at first mating and lifetime performance or culling risk in commercial herds. Journal of Veterinary Medical Science; 73:55–569. https://doi.org/10.1292/jvms.10-0040

SAS Institute. 2002. Statistical Analysis Software. SAS/STAT System for Windows 9.0. Cary, NC, USA. SAS Institute Inc. ISBN:978-1-60764-599-3. http://www.sas.com/en_us/software/analytics/stat.html#

SCHUKKEN YH, Buurman J, Huirne RBM, Willemse AH, Vernooy JCM, van den Broek J, Verheijden JHM. 1994. Evaluation of optimal age at first conception in gilts from data

collected in commercial swine herds. Journal of Animal Science; 72:1387–1392. https://doi.org/10.2527/1994.7261387x

SILVA J, Figueiredo J, Van den Hurk R. 2009. Involvement of growth hormone (GH) and insulin-like growth factor (IGF) system in ovarian folliculogenesis. Theriogenology; 71(8): 1193-1208. https://doi.org/10.1016/j.teriogenología.2008.12.015

STANCIC I, Stancic B, Bozic A, Anderson R, Harvey R, Gvozdic D. 2011. Ovarian activity and uterus organometry in delayed puberty gilts. Theriogenology; 76:1022–1026. https://doi.org/10.1016/j.teriogenología.2011.05.004

SUSTER D, Leury B, Ostrowska E, Butler K, Kerton D, Wark J, Dunshea F. 2003. Accuracy of dual energy X-ray absorptiometry (DXA), weight and P2 back fat to predict whole body and carcass composition in pigs within and across experiments. Livestock Production Science; 84(3): 231-242. https://doi.org/10.1016/S0301-6226(03)00077-0

TE PAS MF, Visscher AH, de Greef KH. 2004. Molecular genetics and physiologic background of the growth hormone–IGF-I axis in relation to breeding for growth rate and leanness in pigs. Domestic Animal Endocrinology; 27(3):287-301. https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2004.06.003

THITACHOT K, Sirinopwong V, Seemuang V, Ratchatasriprasert A, Kirkwood RN, Am-in N. 2021. Influence of Backfat Thickness and the Interval from Altrenogest Withdrawal to Estrus on Reproductive Performance of Gilts. Animals; 11:1348. https://doi.org/10.3390/ani11051348

TUMMARUK P, Kesdangsakonwut S, Kunavongkrit A. 2009a. Relationships among specific reasons for culling, reproductive data and gross-morphology of the genital tracts in gilts culled due to reproductive failure in Thailand. Theriogenology; 71:369–375. https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.08.003

TUMMARUK P, Lundeheim N, Einarsson S, Dalin A. 2000. Factors influencing age at first mating in purebred Swedish Landrace and Swedish Yorkshire gilts. Animal Reproduction Science; 63(3):241-254. https://doi.org/10.1016/s0378-4320(00)00184-6

TUMMARUK P, Lundeheim N, Einarsson S, Dalin A. 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(3):225-238. https://doi.org/10.1016/s0378-4320(01)00095-1

TUMMARUK P, Sukamphaichit N, Kitiarpornchai W, Musikjearanan S, Tantasuparuk W. 2006. Seasonal influence on causes of culling in gilts. In: Proc. 19th International Pig Veterinary Society Congress, Copenhagen, Denmark, 498. https://www.car.chula.ac.th/display7.php?bib=b1722927

TUMMARUK P, Tantasuparuk W, Techakumphu M, Kunavongkrit A. 2007. Age, body weight and backfat thickness at first observed oestrus in crossbred Landrace×Yorkshire gilts, seasonal variations and their influence on subsequence reproductive performance. Animal Reproduction Science; 99:167–181. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2006.05.004

TUMMARUK P, Tantasuparuk W, Techakumphu M, Kunavongkrit A. 2009b. The association between growth rate, body weight, backfat thickness and age at first observed oestrus in crossbred Landrace × Yorkshire gilts. Animal Reproduction Science; 110:108–122. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2008.01.004

VALLET JL, Miles JR, Rempel LA, Nonneman DJ, Lents CA. 2015. Relationships between day one piglet serum immunoglobulin immunocrit and subsequent growth, puberty attainment, litter size, and lactation performance. Journal of Animal Science; 93:2722-2729. https://doi.org/10.2527/jas.2014-8535

VAN WETTERE W.H.E.J., Revell D.K., Mitchell M., Hughes P.E. 2006. Increasing the age of gilts at first boar contact improves the timing and synchrony of the pubertal response but does not affect potential litter size. Animal Reproduction Science; 95 (1–2):97-106. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2005.09.009

WEGNER K, Lambertz C, Das G, Reiner G, Gauly M. 2016. Effects of temperature and temperature humidity index on the reproductive performance of sows during summer months under a temperate climate. Animal Science Journal. 87(11):1334-1339. https://doi.org/10.1111/asj.12569

WIEGERT JG, Garrison C, Knauer MT. 2017. Characterization of birth weight and colostrum intake on piglet survival and piglet quality. Journal of Animal Science; 95 (Suppl. 2): 32. https://doi.org/10.2527/asasmw.2017.068

WILLIAMS NH, Patterson J, Foxcroft G. 2005. Non-Negotiables of Gilt Development. Advances in Pork Production; 16:281-289.

https://www.researchgate.net/publication/237733156_Non-Negotiables_of_Gilt_Development

WOLF J, Žáková E, Groeneveld E. 2008. Within-litter variation of birth weight in hyperprolific Czech Large White sows and its relation to litter size traits, stillborn piglets and losses until weaning. Livestock Science; 115(2-3):195-205. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.07.009

WU G, Bazer FW, Wallace JM, Spencer TE. 2006. Intrauterine growth retardation: Implications for animal sciences. Journal of Animal Science; 84:2316-2337. https://doi.org/10.2527/jas.2006-156

YOUNG MG, Tokach MD, Aherne FX, Dritz SS, Goodband RD, Nelssen JL, Loughin TM. 2008. Effect of space allowance during rearing and selection criteria on performance of gilts over three parities in a commercial swine production system. Journal of Animal Science; 86:3181–3193. https://doi.org/10.2527/jas.2007-0600