



**Universidad Nacional del Litoral**  
*Facultad de Ciencias Veterinarias*

*Estación Experimental Agropecuaria INTA Las Breñas, Chaco.*

*Tesis presentada para optar por el grado académico de  
Doctor en Ciencias Veterinarias*

***Efecto de la inclusión de grasa sobre la performance  
reproductiva y productiva de cerdas en el sudoeste  
chaqueño***

Autor: Ing. Zoot. Francisco Germán Rivas

Directora: Dra. Sara Inés Williams

Codirectora: Dra. Valentina Matiller

**2023**

DEDICADO

*A mi hijo, Bruno.*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mi madre, por inculcarme el valor de la educación, el esfuerzo y por apoyarme siempre en todos los aspectos de mi vida. También, a Belén, que me ayudó enormemente para que pueda dedicarle el tiempo necesario a culminar esta tesis, gracias por ser mi compañera de vida y madre de nuestro hermoso hijo. Un especial agradecimiento a la Dra. Sara Williams y a la Dra. Valentina Matiller, por su guía, apoyo, conocimientos y por siempre brindarme seguridad en todas y cada una de mis decisiones durante el largo camino que implica un doctorado. También quiero agradecer a la Med. Vet. María de los Ángeles, por ser una gran compañera y profesional, que me inculcó el gusto por la producción porcina y estuvo conmigo codo a codo para afrontar todos los desafíos en la realización de este trabajo.

Quiero agradecer, particularmente, al Dr. Javier Sarradell, al Dr. Sebastian Picco y al Dr. Luis Calvino, por su tiempo dedicado en enriquecer y mejorar este trabajo con sus observaciones y recomendaciones. Tampoco me quiero olvidar de todas las personas que integran la EEA INTA Las Breñas, por su ayuda y apoyo en todo lo que estaba a su alcance para realizar este trabajo. Un enorme agradecimiento a Guillermo de Arriortua, por permitirme realizar este trabajo en su establecimiento y abrirme las puertas de su hogar. También a Fabián, Javier y a todo el personal de la granja “La Posta de los Vascos” cuya ayuda fue muy importante para este trabajo.

Por último, no quiero dejar de agradecer al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), por otorgarme la beca que me permitió formarme académica y profesionalmente.

## INDICE GENERAL

ABREVIATURAS .....	i
INDICE DE TABLAS .....	iii
INDICE DE FIGURAS .....	iv
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT .....	viii
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Antecedentes y contexto de la producción porcina global .....	2
1.2. Producción porcina en Latinoamérica y Argentina .....	3
1.3. Desafíos de la producción porcina en países subtropicales .....	5
1.3.1. Infertilidad estacional.....	5
1.4. Respuesta animal al estrés calórico .....	6
1.5. Mediadores metabólicos entre reproducción y nutrición.....	9
1.6. Explorando el uso de grasa en dietas porcinas .....	11
1.6.1. Características generales .....	11
1.6.2. Clasificación .....	12
1.6.3. Digestión y absorción de la grasa en el cerdo .....	14
1.6.4. Efectos biológicos.....	17
1.6.5. Uso de grasa en dietas de cerdas reproductoras .....	18
1.7. Hipótesis general .....	22
CAPITULO II: OBJETIVOS.....	23
2.1. Objetivo general .....	24
2.2. Objetivos específicos .....	24
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....	25
3.1. Bienestar animal.....	26
3.2. Manejo de animales .....	26
3.3. Instalaciones .....	27
3.3.1. Sistema a campo .....	27
3.3.2. Sistema intensivo .....	29
3.4. Dietas y manejo de la alimentación.....	31
3.5. Variables de estudio.....	33
3.5.1. Variables productivas y reproductivas .....	33
3.5.2. Variables medioambientales.....	35
3.5.3. Variables hormonales y metabolitos.....	35
3.6. Diseño y análisis estadístico .....	36
CAPITULO IV: RESULTADOS .....	38
4.1. Número de lechones nacidos vivos .....	39

4.2. Número de lechones nacidos muertos y momificados .....	39
4.3. Número de lechones nacidos totales .....	41
4.4. Peso al nacimiento.....	41
4.5. Número y peso de lechones al destete.....	42
4.6. Tasa de supervivencia pre-destete.....	43
4.7. Ganancia diaria de peso vivo .....	43
4.8. Variación de peso parto-destete .....	44
4.9. Consumo diario de alimento y energía .....	44
4.10. Intervalo destete-celo.....	46
4.11. Variables medioambientales .....	46
4.12. Estacionalidad .....	49
4.13. Variables hormonales y metabolitos .....	50
CAPITULO V: DISCUSIÓN.....	52
5.1. Efecto de la inclusión de grasa sobre la ingesta calórico y de alimento de la cerda ....	53
5.2. Efecto de la inclusión de grasa sobre la pérdida de peso en lactancia .....	56
5.3. Efecto de la inclusión de grasa sobre el intervalo-destete celo.....	57
5.4. Efecto de la inclusión de grasa sobre el rendimiento de la camada .....	57
5.5. Efecto de la inclusión de grasa sobre niveles hormonales y de metabolitos .....	60
CAPITULO VI: CONCLUSIONES.....	63
CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA .....	65
CAPITULO VIII: ANEXO.....	82
8.1. Publicaciones derivadas de esta tesis .....	83

## ABREVIATURAS

%SPP	Tasa de Supervivencia Pre-Destete.
ADEI	Consumo Diario Promedio de Energía.
ADFI	Consumo Diario Promedio de Alimento.
AGCC	Ácido Graso de Cadena Corta.
AGCL	Ácido Graso de Cadena Larga.
AGCM	Ácido Graso de Cadena Media.
AGL	Ácidos Grasos Libres.
AGL	Ácidos Grasos Libres.
AGMI	Ácido Graso Monoinsaturado.
AGPI	Ácido Graso Poliinsaturado.
AGS	Ácido Graso Saturado.
AIC	Criterio de Información de Akaike.
ANOVA	Análisis de la Varianza
AR1	Función de Correlación Autoregresiva de Orden 1
BIC	Criterio de Información Bayesiano.
C14	Cadena de 14 Carbonos.
C16	Cadena de 16 Carbonos.
C18	Cadena de 18 Carbonos.
C18:1	Cadena de 18 Carbonos con 1 Doble Enlace.
C18:2	Cadena de 18 Carbonos con 2 Dobles Enlaces.
C18:3	Cadena de 18 Carbonos con 3 Dobles Enlaces.
C2	Cadena de 2 Carbonos.
C24	Cadena de 24 Carbonos.
CAES	Comité Asesor de Ética y Seguridad.
CCK	Colecistoquinina.
CH	Enlace Carbono-Hidrogeno.
CICUAE	Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales de Experimentación.
COOH	Grupo Carboxilo.
COVID-19	Coronavirus Disease 2019.
D0	Dieta de Gestacion y Lactancia sin Inclusión de Grasa.
D1	Dieta de Gestacion y Lactancia con Inclusión de 3.5% Grasa.
D2	Dieta de Gestacion y Lactancia con Inclusión de 7% Grasa.
Dig.	Digestible.
EEA	Estación Experimental Agropecuaria.
FAO	Food and Agriculture Organization.
FCV-UNL	Facultad de Ciencias Veterinarias-Universidad Nacional del Litoral.
FPP	Fecha Probable de Parto.
G1	Grupo 1.

G2	Grupo 2.
GDPV	Aumento Diario Promedio de Peso.
Hab.	Habitante.
HR	Humedad Relativa.
IDC	Intervalo Destete-Celo.
IGF-1	Factor de Crecimiento Insulínico Tipo 1.
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
LD	Lechones Destetados.
LH	Hormona Luteinizante.
LNMo	Lechones Nacidos Momificados.
LNMu	Lechones Nacidos Muertos.
LNV	Lechones Nacidos Vivos.
LT	Lechones Totales.
MLGM	Modelos Lineales Generales y Mixtos
MS	Materia Seca.
NEA	Noreste Argentino.
NEFA	Ácidos Grasos no Esterificados.
NRC	National Research Council.
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development.
PD	Peso al Destete.
pH	Potencial de Hidrogeno.
PN	Peso al Nacimiento.
PPA	Peste Porcina Africana.
PVC	Policloruro de Vinilo.
Q-Q	Quantile-Quantile
$\rho$	rho (coeficiente de correlación de Spearman).
R	Cadena Hidrocarbonada.
SAGyP	Secretaria de Agricultura Ganadería y Pesca.
SC	Sistema a Campo.
SI	Sistema Intensivo.
TAG	Triglicerol.
TCI	Temperatura Critica Inferior.
TCS	Temperatura Critica Superior.
UV	Ultravioleta.
V.	Versión.
VLDL	Lípidos de Muy Baja Densidad.
ZT	Zona Termoneutral.
$\Delta$ BW	Variación de Peso Parto-Destete.

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Dietas empleadas en el experimento con sus respectivas fases y niveles de inclusión de grasa.....	31
<b>Tabla 2.</b> Porcentaje de inclusión de ingredientes y composición química de las dietas experimentales.....	32
<b>Tabla 3.</b> Composición química de la grasa empleada en las dietas experimentales. ....	33
<b>Tabla 4.</b> Efecto de las dietas experimentales y el número de partos sobre el número de lechones nacidos vivos para ambos sistemas. ....	40
<b>Tabla 5.</b> Efecto de las dietas experimentales y el número de partos sobre el número de lechones nacidos momificados y muertos para ambos sistemas. ....	40
<b>Tabla 6.</b> Efecto de las dietas experimentales y el número de partos sobre el número de lechones nacidos totales para ambos sistemas.....	41
<b>Tabla 7.</b> Efecto de las dietas experimentales y el número de partos sobre el peso al nacimiento de lechones para ambos sistemas.....	42
<b>Tabla 8.</b> Efecto de las dietas experimentales y el sistema sobre el número y peso de lechones al destete. ....	42
<b>Tabla 9.</b> Efecto de las dietas experimentales y el sistema sobre la tasa de supervivencia pre-destete. ....	43
<b>Tabla 10.</b> Efecto de las dietas experimentales y el sistema sobre la ganancia diaria promedio de lechones. ....	43
<b>Tabla 11.</b> Efecto de las dietas experimentales y el sistema sobre variación de peso parto-destete. ....	44
<b>Tabla 12.</b> Efecto de las dietas experimentales y el tipo de sistema sobre el consumo promedio diario de alimento y de energía. ....	45
<b>Tabla 13.</b> Efecto de las dietas experimentales y el sistema sobre el intervalo destete-celo. ....	46
<b>Tabla 14.</b> Correlaciones entre las variables estudiadas y las estaciones del año. ....	50
<b>Tabla 15.</b> Efecto de las dietas experimentales sobre los niveles séricos de glucosa, insulina, LH y NEFA.....	50



## INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Evolución de la producción de carne de cerdo de la República Argentina para el período 2002 – 2022. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la SAGyP - Ministerio de Economía (2023)..... 4
- Figura 2.** Evolución del consumo per cápita de carne de cerdo en Argentina durante el período 2002 – 2022. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la SAGyP - Ministerio de Economía (2023)..... 4
- Figura 3.** Producción de calor y su equilibrio con la pérdida de calor en función de la temperatura ambiental. Fuente: Adaptado de Huynh (2005) ..... 7
- Figura 4.** Formulas estructurales de algunos C18 ácidos grasos. Los dobles enlaces en la cadena son representados de color rojo. Fuente: adaptado de Voet et al., (2016)..... 13
- Figura 5.** Los ácidos grasos son la unidad fundamental del metabolismo lipídico porcino. Tanto los ácidos grasos provenientes de fuentes externas (ingeridos) como internas (sintetizados de novo y almacenados en el tejido adiposo) pueden ser utilizados como fuente de energía a través de la oxidación o almacenados en forma de triglicéridos, principalmente en el tejido adiposo. Fuente: Adaptado de Chiba (2013)..... 14
- Figura 6.** Pasos fundamentales en la digestión de los lípidos: 1) Masticación: se libera la grasa de la matriz del alimento y la lipasa salival. 2) Estómago: la grasa se mezcla con los triglicéridos libres, las sales biliares y nutrientes liposolubles, creando gotas de emulsión. 3) Duodeno: las lipasas hidrolizan los triglicéridos en monoglicéridos y se forman micelas mixtas compuestas de triglicéridos, ácidos grasos libres y nutrientes liposolubles. 4) Las micelas mixtas se absorben a través de la pared intestinal y las sales biliares se devuelven a la vesícula biliar. Fuente: adaptado de Wealleans et al., (2021b)..... 15
- Figura 7.** Tráfico de lípidos entre el intestino, hígado, musculo esquelético y tejido adiposo en cerdos. Abreviaturas: NEFA (ácidos grasos no-esterificados), VLDL (lípidos de muy baja densidad) y TAG (triacilglicerol). Fuente: Adaptado de Chiba (2023)..... 17
- Figura 8.** (A) Hembras reposando junto a uno de los bebederos y reparos artificiales en pleno proceso de armado y montaje; (B) Hembras dispuestas en línea sobre el alambrado eléctrico. .. 27
- Figura 9.** (A) Estructura de almacén de hierro y (B) sistema de apertura de techos para circulación del aire de las parideras a campo empleadas en el SC. .... 28
- Figura 10.** Instalaciones de la granja comercial empleada como sistema intensivo: (A) Galpón de gestación y módulos de maternidad; (B) Módulos de maternidad con cortina forestal de fondo. 29

**Figura 11.** Interior del galpón de gestación en el sistema intensivo. (A) Jaulas de gestación y sistema de comederos y provisión de agua; (B) Animales dispuestos en las jaulas de gestación junto con línea de comederos, ventiladores y sistema de goteo. .... 30

**Figura 12.** (A y B) Hembras alojadas en las jaulas de maternidad previo a la FPP; (C) Cerda amamantando a sus lechones a pocos días del parto; (D) Cerda junto con sus lechones próximos a destetarse..... 30

**Figura 13.** (A y B) Procedimiento de extracción de sangre por vena yugular externa con cerdas inmovilizadas mediante lazo en el morro. .... 35

**Figura 14.** Consumo promedio diario de alimento (ADFI; kg/día) de cerdas durante la lactancia de dietas que contienen 0, 3.5 y 7% de inclusión de grasa en dos sistemas de producción (a campo e intensivo)..... 45

**Figura 15.** Consumo promedio diario de energía (ADEI; Mcal/día) de cerdas durante la lactancia de dietas que contienen 0, 3.5 y 7% de inclusión de grasa en dos sistemas de producción (a campo e intensivo)..... 46

**Figura 16.** Temperatura media para cada estación del año y cada sistema: sistema intensivo (SI) y sistema a campo (SC). Los resultados se expresan como la media  $\pm$  DS. La presencia de superíndices indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para la misma estación del año en cada sistema. .... 47

**Figura 17.** Temperatura máxima para cada estación del año y cada sistema: sistema intensivo (SI) y sistema a campo (SC). Los resultados se expresan como la media  $\pm$  DS. La presencia de superíndices indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para la misma estación del año en cada sistema. .... 48

**Figura 18.** Temperatura mínima para cada estación del año y cada sistema: sistema intensivo (SI) y sistema a campo (SC). Los resultados se expresan como la media  $\pm$  DS. La presencia de superíndices indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para la misma estación del año en cada sistema. .... 48

**Figura 19.** Humedad relativa para cada estación del año y cada sistema: sistema intensivo (SI) y sistema a campo (SC). Los resultados se expresan como la media  $\pm$  DS. La presencia de superíndices indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para la misma estación del año en cada sistema. .... 49

## RESUMEN

El objetivo de esta Tesis fue evaluar el efecto de la inclusión de grasa a diferentes niveles sobre parámetros productivos, reproductivos y hormonales de cerdas y sus camadas en dos sistemas de producción y desde la 1° a la 4° parición. Se utilizaron 60 cerdas (Landrace x Yorkshire) que fueron divididas en dos grupos de 30 y asignadas aleatoriamente a dos sistemas: a campo (SC) e intensivo (SI). A su vez, dentro de cada sistema las hembras fueron divididas en 3 grupos homogéneos y se les asignó aleatoriamente las dietas experimentales D0, D1 y D2, correspondientes a dietas de gestación y lactancia con 0, 3.5 y 7% de grasa respectivamente. En la gestación, las dietas se suministraron a razón 2.5 kg/día/animal, mientras que durante la lactancia la alimentación fue *ad libitum*. Se tomaron muestras de sangre de la vena yugular externa el día del destete y en los días 3, 5 y 7 posteriores a todas las hembras del SI para determinaciones de niveles séricos de insulina, glucosa, hormona luteinizante (LH) y ácidos grasos no esterificados (NEFA). Las variables productivas y reproductivas estudiadas fueron el número de lechones nacidos vivos (LNV), muertos (LNMu) y momificados (LNM0), lechones totales (LNT), el peso al nacimiento (PN), el número (LD) y peso (PD) de lechones al destete, la tasa supervivencia pre-destete (%SPP) y la ganancia diaria promedio de peso de los lechones nacimiento-destete (GDPV), el consumo de alimento (ADFI) y energía (ADEI) promedio diario de las cerdas durante la lactancia, la variación de peso parto-destete ( $\Delta$ BW) y el intervalo destete-celo (IDC). Las temperaturas medias, máximas, mínimas y la humedad relativa en ambos sistemas también fueron registradas durante todo el experimento. Los análisis estadísticos se realizaron con el módulo de MLM del software INFOSTAT. La inclusión de grasa al 7% mejoró el número de LNV ( $p \leq 0.05$ ), el PN ( $p \leq 0.05$ ), y LNT ( $p \leq 0.05$ ) en el 3° y 4° parto para ambos sistemas. No se detectaron diferencias significativas para el LNM0 y LNMu ( $p > 0.05$ ) entre sistemas o dietas. No se detectó un efecto significativo del número de partos para las variables de GDPV, LD, PD, ADFI, ADEI,  $\Delta$ BW o IDC ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, la inclusión de grasa al 7% tuvo efectos positivos sobre la GDPV ( $p \leq 0.05$ ), LD ( $p \leq 0.05$ ), PD ( $p \leq 0.05$ ) y %SPP ( $p \leq 0.05$ ) principalmente en el sistema a campo. También, se observó una respuesta lineal positiva a la suplementación en ambos sistemas para las variables de ADEI y ADFI ( $p \leq 0.05$ ). La  $\Delta$ BW fue menor en hembras que consumieron la dieta D2 en el sistema a campo ( $p \leq 0.05$ ) y el IDC fue significativamente menor en hembras que consumieron la D2 en ambos sistemas ( $p \leq 0.05$ ). La inclusión de grasa no modificó los niveles séricos de glucosa e insulina ( $p > 0.05$ ) pero si aumentó los niveles de LH ( $p \leq 0.05$ ) y disminuyó

la concentración de NEFA en suero ( $p \leq 0.05$ ). En base a estos resultados puedo concluir que la inclusión de grasa ha mejorado las variables productivas y reproductivas de cerdas y sus camadas en los sistemas de producción estudiados en el sudoeste Chaqueño.

## ABSTRACT

The objective of this Thesis was to evaluate the effect of fat inclusion at different levels on productive, reproductive and hormonal parameters of sows and their litters in two production systems and from the 1st to the 4th parity. Sixty sows (Landrace x Yorkshire) were divided into two equal groups and were randomly assigned to two systems: field (SC) and intensive (SI). Within each system, the sows were divided into 3 homogeneous groups and were randomly assigned to experimental diets D0, D1 and D2, corresponding to diets for the gestation and lactation stages with 0, 3.5 and 7% fat, respectively. During gestation, the diets were fed at a rate of 2.5 kg/day/animal, while during lactation the feeding was ad libitum. Blood samples were taken from the external jugular vein on the day of weaning and on days 3, 5 and 7 thereafter from all SI sows for determination of serum levels of insulin, glucose, luteinizing hormone and non-esterified fatty acids (NEFA). The productive and reproductive variables studied were the number of piglets born alive (LNV), dead (LNMu) and mummified (LNM0), litter total size (LNT), birth weight (BW), number (LD) and weight (PD) of piglets at weaning, pre-weaning survival rate (%SPP) and average daily weight gain of piglets at birth-weaning (GDPV), average daily feed intake (ADFI) and energy (ADEI) of sows during lactation, farrow-to-weaning weight variation ( $\Delta$ BW) and wean-to-estrus interval (IDC). Mean, maximum, minimum temperatures and relative humidity in both systems were also recorded throughout the experiment. Statistical analyses were performed with the MLM module of INFOSTAT software. The inclusion of 7% fat improved the number of LNV ( $p \leq 0.05$ ), PN ( $p \leq 0.05$ ), and LNT ( $p \leq 0.05$ ) in the 3rd and 4th parity for both systems. No significant differences were detected for LNM0 and LNMu ( $p > 0.05$ ) between systems or diets. No significant effect of parity number was detected for GDPV, LD, PD, ADFI, ADEI,  $\Delta$ BW or IDC variables ( $p > 0.05$ ). However, the inclusion of 7% of fat had positive effects on GDPV ( $p \leq 0.05$ ), LD ( $p \leq 0.05$ ), PD ( $p \leq 0.05$ ) and %SPP ( $p \leq 0.05$ ) mainly in the field system. Also, a positive linear response to supplementation was observed in both systems for ADEI and ADFI variables ( $p \leq 0.05$ ). The  $\Delta$ BW was lower in sows consuming the D2 in the field system ( $p \leq 0.05$ ) and the ADFI was significantly lower in sows with consuming the D2 in both systems ( $p \leq 0.05$ ). Fat inclusion did not alter serum glucose and insulin levels ( $p > 0.05$ ) but did alter LH levels ( $p \leq 0.05$ ) and decreased serum NEFA concentration ( $p \leq 0.05$ ). Based on these results, it can be concluded that the inclusion of fat has improved the productive and reproductive variables of sows and their litters in the production systems studied in the southwestern Chaco region.

CAPÍTULO I  
INTRODUCCIÓN

## **1.1. Antecedentes y contexto de la producción porcina global**

Durante miles de años, el consumo de carne de cerdo ha desempeñado un papel significativo en la alimentación humana (Szűcs & Vida, 2017). Su producción y uso están estrechamente ligados al desarrollo de la agricultura, a medida que la producción agrícola ha aumentado a lo largo de la historia, también ha crecido el consumo de carne de cerdo. La cría de esta especie se destaca como una industria ganadera clave en todos los continentes. El sector porcino continúa siendo el más destacado a nivel mundial y del que, según las últimas proyecciones del USDA, se esperan los crecimientos más significativos en su demanda (Dohlman et al., 2022).

La situación del mercado del sector cárnico porcino se caracteriza, en general, por unos precios nominales de producción elevados respaldados, por el lado de la demanda, por el aumento de los ingresos derivado del rápido crecimiento de los países en desarrollo, y, por el lado de la oferta, por los elevados costes de los insumos, sobre todo de los cereales forrajeros, los insumos relacionados con la energía y la mano de obra. Este escenario indica que el cerdo seguirá siendo uno de los tipos de carne más importantes en la alimentación humana, tanto en la actualidad como en el futuro (Yu & Jensen, 2022). El cerdo desempeña un rol muy importante en la dieta de consumidores de muchas partes del mundo, ya que es una valiosa fuente de proteína animal y otros nutrientes esenciales. Según la Food and Agriculture Organization (FAO; 2022) se proyecta un crecimiento en la demanda de carne de cerdo en el futuro cercano, impulsado principalmente por el aumento de la población y los ingresos económicos en Asia, y en menor medida, en América Latina.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico de la FAO (OECD/FAO, 2022) espera que la demanda mundial de carne de cerdo aumente desde el nivel medio anual de 110,5 millones de toneladas a 128,9 millones de toneladas métricas para el 2031. El principal motor de crecimiento de la demanda mundial de carne de cerdo es Asia, donde se prevé que la demanda total aumente de 61,4 millones de toneladas a 76 millones durante el período proyectado. En términos per cápita, un consumidor asiático medio aumentará el consumo de carne de cerdo de 10,4 a 11,9 kg.

Dentro de Asia, China mantiene su posición dominante como el mayor consumidor mundial, con una demanda total que se recupera del shock de la Peste Porcina Africana (PPA) y la pandemia de COVID-19. La bibliografía sobre el impacto de la pandemia de COVID-19 en el sector porcino es

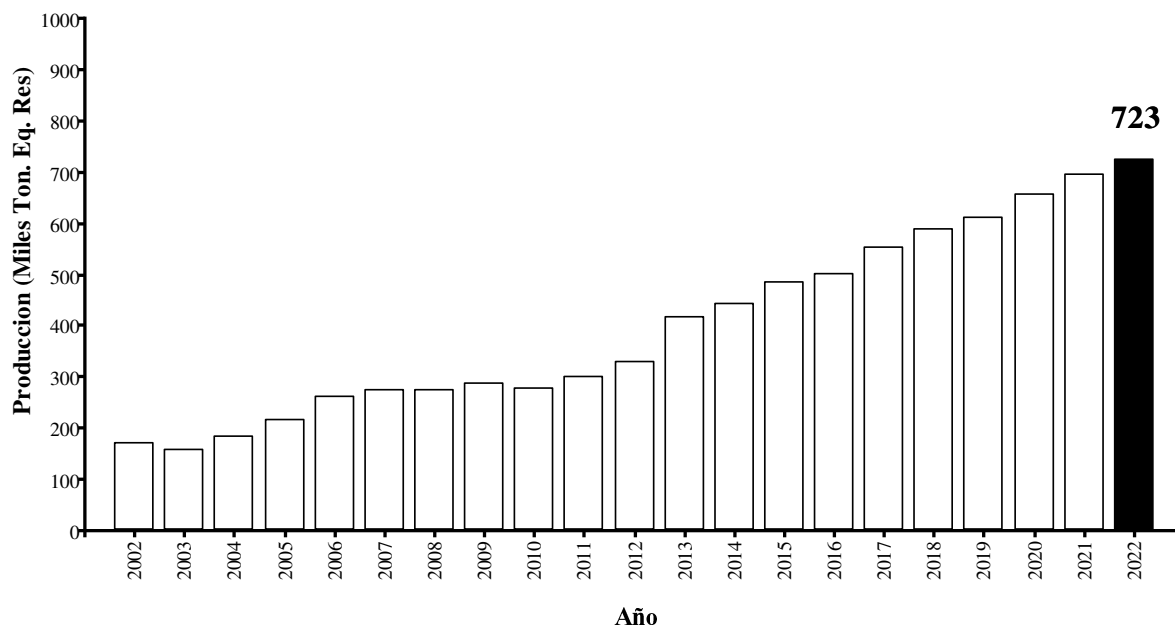
limitada, principalmente, porque es muy reciente y aún se encuentra en desarrollo. Sin embargo, algunos artículos discuten su impacto en el sector porcino chino. Yu et al., (2020) descubrieron que la pandemia puede reducir los precios globales de la carne de cerdo, ya que las estrictas medidas de cuarentena adoptadas por China podrían provocar una menor demanda. Ni et al., (2020) documentaron la escasa disposición de los productores de EE. UU a recuperar la producción porcina tras la pandemia, aunque esto también podría deberse a las grandes pérdidas ocasionadas por la peste porcina africana. Wang et al., (2020) sugirieron que la interrupción de la cadena de suministro de carne de cerdo en China es de corta duración. Aun así, se espera que el crecimiento continuado de los ingresos eleve el consumo anual per cápita de carne de cerdo en China a 31,2 kg. per cápita, acercándose al nivel de consumo de la Unión Europea, el segundo mercado mundial de carne de cerdo (Yu & Jensen, 2022).

América Latina y África aumentarán sus respectivos consumos, pero por motivos diferentes: el aumento de la demanda en América Latina se debe a un mayor consumo per cápita, mientras que el aumento de la demanda en África se debe al crecimiento demográfico previsto. En el mundo desarrollado, los niveles de consumo total y per cápita se mantendrán estables o registrarán un aumento muy modesto, lo que refleja una demanda de carne de cerdo relativamente inelástica en relación con los cambios de ingresos, cuando el consumo per cápita de todas las carnes ya ha alcanzado niveles muy altos (FAO, 2022).

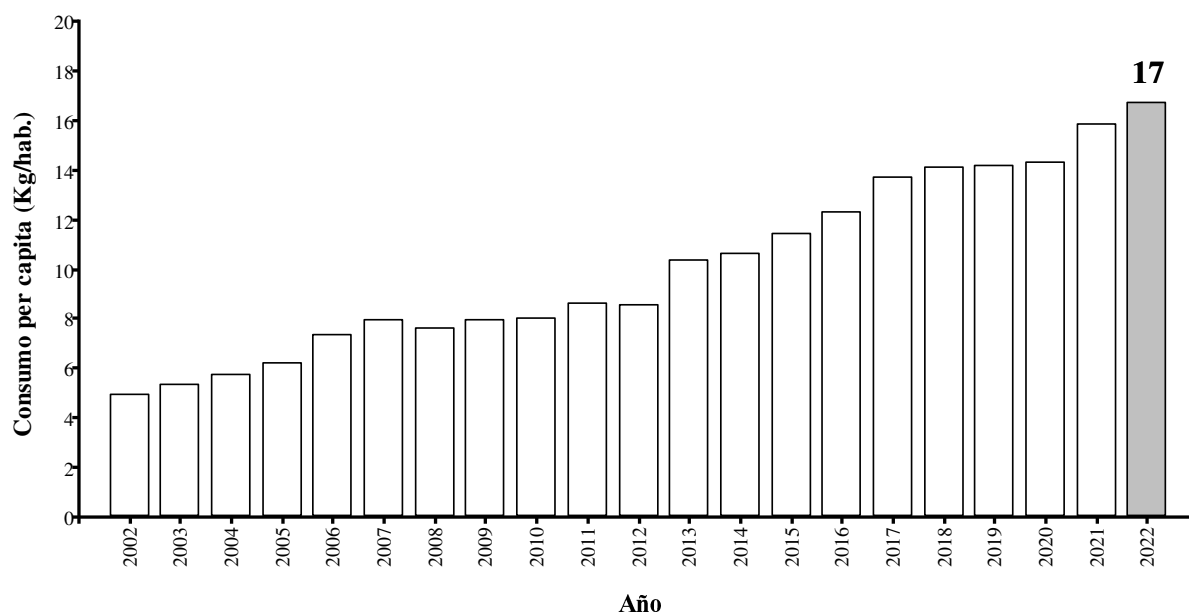
## **1.2. Producción porcina en Latinoamérica y Argentina**

La producción de carne de cerdo en Latinoamérica para el año 2022 fue de 7.5 millones de toneladas métricas. Brasil lidera la producción con 4.8 millones de ton. mientras que, por su parte, Argentina experimenta un crecimiento sostenido de la producción, pasando de 171.000 ton en el año 2002, a 331.000 en el 2012 y 723.400 ton en el año 2022. (Figura 1). Caso a destacar es el de las importaciones de carne de cerdo, donde la Argentina paso de 50.000 ton (2021) a 64.000 ton (2022) mientras que las exportaciones cayeron de 20.000 ton a solo 5.000 ton. para el mismo período (FAO, 2022). Al igual que la producción, el consumo de la carne de cerdo en Argentina, se ha incrementado notoria y sostenidamente, pasando de tan solo 4,98 kg/hab en el 2002 a 16,69 kg/hab para el año 2022 (Figura 2). En relación a la faena, se alcanzaron las 7.666.012 cabezas en el año 2022, lo que representa un incremento de más del 100% con respecto al año 2012.





**Figura 1.** Evolución de la producción de carne de cerdo de la República Argentina para el período 2002-2022. Fuente: Elaboración propia en base a datos de la SAGyP - Ministerio de Economía (2023).



**Figura 2.** Evolución del consumo per cápita de carne de cerdo en Argentina durante el período 2002 – 2022. Fuente: Elaboración propia en base a datos de la SAGyP - Ministerio de Economía (2023).

Cabe destacar, que el 20% del stock de madres del país se encuentra en la región del Nordeste Argentino (NEA), el cual lo integran las provincias de Formosa, Chaco, Corrientes y Misiones y cuya característica principal es su clima subtropical.

### **1.3. Desafíos de la producción porcina en países subtropicales**

El 50% de la producción porcina global se lleva a cabo en regiones tropicales y subtropicales (Rosegrant et al., 2001). A su vez, en dichas regiones, es en donde la demanda de productos de origen animal crece más rápidamente (FAO, 2003) y en las cuales se predice que se sustentará el futuro crecimiento de la industria porcina (Delgado et al., 1999). Entre los desafíos que enfrenta la porcicultura en los países del trópico, se pueden destacar: el creciente interés y desarrollo de los biocombustibles (con un impacto subsecuente en los precios de los cereales), el rápido crecimiento poblacional y de ingresos económicos que demanda sistemas productivos más eficientes, la escasez de recursos alimentarios, problemas sanitarios y las altas temperaturas (Zhang et al., 2012).

#### **1.3.1. Infertilidad estacional**

En el porcino, el verano y principios del otoño son los períodos en los que las variables reproductivas muestran sistemáticamente sus valores más bajos. Este periodo se suele denominar infertilidad estival o, más apropiadamente, infertilidad estacional, ya que los efectos que se evidencian pueden ocurrir fuera de los meses de verano (Peltoniemi et al., 1999). Las manifestaciones de la infertilidad estacional incluyen pubertad tardía (Flowers et al., 1989; Paterson y Pearce, 1990), intervalos prolongados o irregulares entre el destete y el celo (Sterning et al., 1990), tasas de partos reducidas (Tast et al., 2002) anestro y reducción del tamaño de las camadas (Wegner et al., 2016).

La infertilidad estacional puede atribuirse a varios factores, pero está principalmente asociado a las altas temperaturas ambientales estacionales que afectan negativamente a la ingesta de nutrientes durante la lactancia (Peltoniemi & Virolainen, 2006). El fotoperiodo es otro factor que se ha propuesto como influyente sobre la fertilidad y es, aparentemente, independiente de las temperaturas ambientales anuales (Auvigne et al., 2010), aunque esto último es evidente solo en determinados países. En general, la infertilidad estacional se manifiesta con más frecuencia en cerdas jóvenes y primíparas que en las cerdas de más edad (Bloemhof et al., 2013), probablemente

porque estos animales tienen un apetito innato más pequeño y aún están creciendo hasta su tamaño maduro.

La causa subyacente de la infertilidad estacional no está clara, pero es probable que sea multifactorial e implique efectos sobre la función folicular ovárica y/o del cuerpo lúteo, presumiblemente provocados por alteraciones en la estimulación gonadotrófica, lo que hace que algunas cerdas sean más sensibles a los cambios de su entorno. Se ha sugerido que el desencadenante de la infertilidad estacional en estas cerdas sensibles es la baja ingesta de nutrientes durante la lactación como consecuencia de las elevadas temperaturas y los fotoperiodos más largos en primavera-verano, o ambos (Prunier et al., 1994).

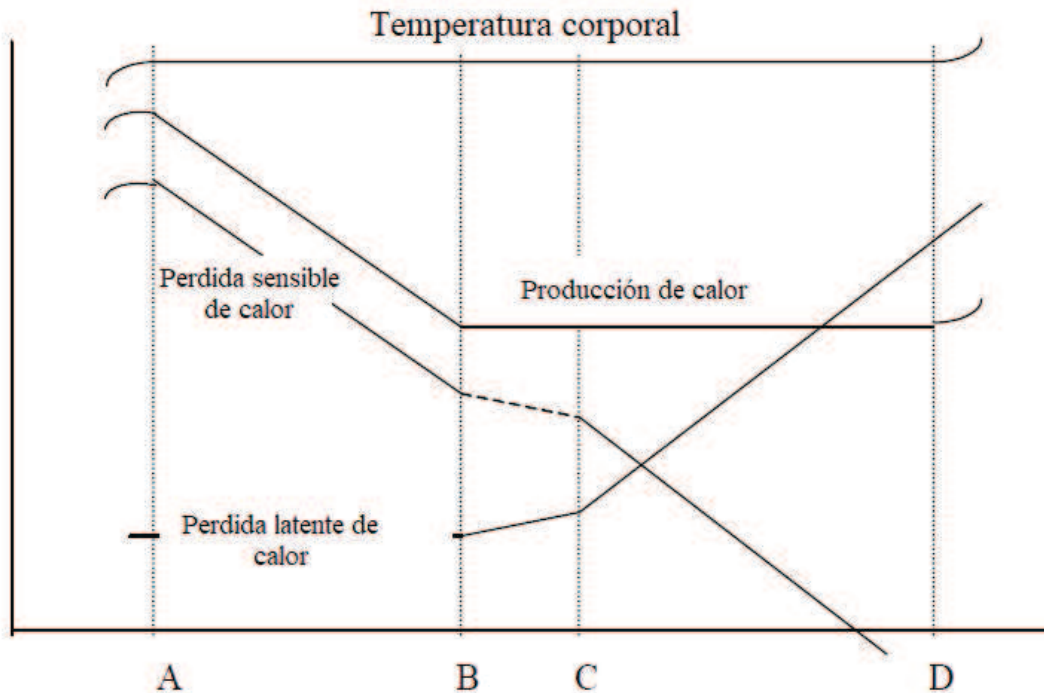
En las latitudes subtropicales y tropicales el principal factor es probablemente el estrés térmico, mientras que, en los países templados, donde las temperaturas se encuentran dentro de la zona de confort para los cerdos durante todo el año, el problema puede estar relacionado también con el fotoperiodo. Es por ello que el primer enfoque para contrarrestar la infertilidad estival es el control de las temperaturas y la humedad (de Rensis et al., 2017).

#### **1.4. Respuesta animal al estrés calórico**

Los cerdos mantienen su temperatura corporal dentro de ciertos límites mediante un balance entre la pérdida y ganancia de calor, independientemente de la temperatura del medio que los rodea (Miller, 2012). Sin embargo, esta especie es particularmente sensible a las altas temperaturas debido, en parte, a una capacidad de sudoración inadecuada, que conduce a una capacidad limitada de refrigeración por evaporación. Además, la selección genética para aumentar el crecimiento y la composición corporal magra ha dado lugar a una mayor susceptibilidad al estrés térmico (Boddicker et al., 2014).

La Figura 3 ilustra el concepto general de termorregulación de los cerdos formulado por Mount (1979). Dentro de la zona de temperatura A - D, los cerdos pueden mantener constante su temperatura corporal. Las temperaturas ambientales por debajo de A provocan que la temperatura corporal descienda, mientras que por encima de D la temperatura corporal se incrementa. La zona A - D puede dividirse en zonas A - B y B - D. Dentro de la zona A - B, la temperatura corporal se mantiene constante mediante la regulación de la producción de calor. La producción de calor dentro

de esta zona puede aumentarse mediante termogénesis. En las zonas B - D, la temperatura corporal se mantiene constante mediante la regulación de la pérdida de calor.



**Figura 3.** Producción de calor y su equilibrio con la pérdida de calor en función de la temperatura ambiental. Fuente: Adaptado de Huynh (2005).

La pérdida de calor en la zona B - D es regulada mediante la evaporación de agua a través de la misma y de los pulmones. En esta zona, la producción de calor es mínima con una ingesta de alimento dada. Conocida como la zona termo neutral, es la zona en la que se puede alcanzar una producción óptima, mientras que la energía necesaria para el mantenimiento es mínima. El punto B se denomina temperatura crítica inferior, mientras que el punto D se denomina temperatura crítica superior.

Por encima de la zona termo-neutral, la producción de calor aumenta porque se necesita más energía para perder calor. La temperatura crítica superior depende principalmente de nivel de alimentación, el peso del animal, el movimiento del aire y la humedad relativa (HR) (Curtis, 1985). La zona B-C, denominada zona de confort, se define como la zona en la que los cerdos pueden regular su pérdida de calor por medios físicos (Curtis, 1983).

La temperatura más baja de la zona de confort es igual a la temperatura crítica inferior (TCI; punto B, Figura 3). La temperatura superior de la zona de confort es inferior a la temperatura crítica superior (TCS; punto C, Figura 3). En cerdas gestante y lactantes la ZT oscila entre 16° C y 22° C (Noblet et al., 1989; Black et al., 1993; Coffey et al., 1995) con un porcentaje de humedad relativa entre 40 y 70% (Ribeiro et al., 2018).

Cuando la temperatura corporal de los animales se acerca a la TCS, estos activan distintos mecanismos para mantener la homeotermia que dependiendo del sistema de producción y, por ende, de los métodos artificiales de regulación de la temperatura ambiental que se utilicen, los animales alojados en confinamiento dispondrán de mayores mecanismos de apoyo en comparación de aquellos criados en sistema a campo (Mayorga et al., 2019).

Estos mecanismos se centran en: aumentar la disipación de calor y disminuir la producción del mismo (Collin et al., 2001). Mediante el aumento de la frecuencia respiratoria (jadeo), el incremento del flujo sanguíneo hacia la piel y el cambio de la postura buscando aumentar el contacto con superficies más frías (piso, tierra y corriente de aire) el cerdo busca disipar la mayor cantidad de energía calórica posible (Lorsch, 2005; Lammers et al., 2007)

Sin embargo, en el cerdo, a diferencia de otros mamíferos, los métodos convencionales de disipación de calor (conducción, convección, evaporación y radiación) son ineficientes y limitados, por lo que recurren a disminuir la producción de calor metabólico producto de la digestión y metabolismo de los nutrientes mediante la disminución del consumo de alimento, siendo este el mecanismo más eficiente que posee esta especie para sobrellevar las altas temperaturas (Knap, 1999; Quiniou et al., 2001; Renaudeau et al., 2012).

Por este motivo la pérdida de condición corporal es una de las señales típicas en animales bajo estrés calórico, sin embargo, no es el único efecto. A continuación, se detallan brevemente algunos de los efectos negativos más importantes, haciendo foco en las hembras reproductoras que, por sus exigencias metabólicas, suelen ser las más sensibles a las altas temperaturas.

En la cerda gestante los efectos son más pronunciados en el primer y último tercio de la gestación (Nelson et al., 1970; Omtvedt et al., 1972). En fases tempranas de preñez las altas temperaturas están relacionadas con alta mortalidad embrionaria, mientras que en etapas tardías el estrés calórico ocasiona una disminución en el tamaño de la camada, un incremento de los lechones nacidos

mueritos y un peso reducido de los lechones nacidos vivos, mientras que a nivel hormonal provoca alteraciones en los niveles circulantes de progesterona, insulina y factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-1; Lucy & Safranski, 2017). Asimismo, el estrés calórico ocasiona en la hembra gestante efectos a largo plazo que se traducen en una disminución de su performance durante la lactancia, un período de retorno al estro más prolongado y una mayor sensibilidad al estrés calórico de su camada. (Black et al., 1993; Prunier et al., 1997; Quiniou y Noblet, 1999; Gourdine et al., 2006; Johnson et al., 2013).

Por su parte, la hembra lactante es más sensible a los efectos del estrés calórico debido a su actividad metabólica elevada (Williams et al., 2013). La disminución del consumo de alimento en cerdas expuestas a altas temperaturas ( $>22^{\circ}\text{C}$ ) resulta en un pobre desarrollo del tejido mamario, lo que lleva a una menor producción de leche y una menor tasa de crecimiento de la camada (Rosero et al., 2012a). Sumado a lo anterior, el rendimiento reproductivo futuro de la hembra se ve comprometido. La evidencia sugiere que las hembras criadas bajo estrés calórico tienen un intervalo destete-celo más largo comparadas con aquellas criadas en termoneutralidad (Black et al., 1993; Einarsson et al., 2008) así como el rendimiento de futuras camadas (Rosero et al., 2012b).

### **1.5. Mediadores metabólicos entre reproducción y nutrición**

La evidencia sugiere un importante rol del sistema endocrino, representado por ciertas hormonas y metabolitos, que tienen un papel clave como mediadores entre el sistema reproductivo y las variaciones en los estados nutricionales (de Bragança & Prunier, 1999; Valros et al., 2003; Van den Brand & Kemp, 2006).

La insulina, la glucosa, los aminoácidos y los ácidos grasos no esterificados (NEFA) proporcionan señales metabólicas al cerebro que influyen en la ingesta de alimentos, el equilibrio energético y la regulación del peso corporal (Fernstrom, 1983). De éstas, la insulina y la glucosa se consideran las más directa y fundamentalmente implicadas en la modulación nutricional del eje hipotalámico-hipofisario-gonadal (Booth, 1990) junto con la hormona luteinizante (LH). La secreción de esta última pareciera estar relacionada con los niveles de glucosa e insulina regulando el crecimiento de las células de la granulosa y potenciando los receptores de LH (Koketsu et al., 1996; Cosgrove et al., 1996).

A su vez, la insulina parece tener un rol clave en el retorno reproductivo durante y después de la lactancia (Kemp et al., 1995). A su vez, el intervalo destete-celo parece estar influenciado por la secreción de LH durante la lactancia, la cual está relacionada con la concentración de glucosa/insulina en sangre y factores ambientales como la temperatura (altas temperaturas ocasionan disminución en la frecuencia de pulsos de LH durante la lactación) (Black et al., 1993; Koketsu, 1998). Sin embargo, estudios posteriores ponen en duda la importancia de esta hormona sobre los pulsos de LH (Quesnel et al., 1998; Van den Brand et al., 2000; 2001), por lo que, dado los resultados ambiguos, su importancia no está clara.

Otros nutrientes propuestos como nexo entre una restricción energética y un descenso de la secreción de LH son los ácidos grasos no esterificados (NEFA) liberados al torrente sanguíneo en épocas de restricción para compensar el déficit energético. La baja ingesta de alimento y la pérdida severa de peso corporal durante la lactancia se asocian con un aumento de los niveles de NEFA en sangre (Van den Brand & Kemp, 2006). La evidencia sugiere que las concentraciones plasmáticas altas de NEFA reflejan el estado metabólico de las cerdas lactantes (Hulten et al., 2002). Esto es apoyado por los resultados de Valros et al., (2003), quienes encontraron correlaciones relativamente fuertes entre la pérdida de peso de la cerda y las concentraciones de NEFA.

Tokach et al., (1992) y Paterson & Pearce (1994) reportaron que las concentraciones plasmáticas de NEFA fueron más altas durante la lactancia tardía en cerdas con un intervalo destete-celo prolongado (IDC; > 15 días), comparado con cerdas con un IDC relativamente corto (<9 días). Los estudios sobre el efecto de la fuente de energía de la dieta en la concentración plasmática de NEFA produjeron en gran medida resultados comparables.

En cuanto a la concentración plasmática de NEFA según la fuente de energía, los resultados muestran discrepancias. Tilton et al., (1999a) encontraron que una dieta con un 10% de grasa animal añadida no alteró o inclusive tendió a disminuir los niveles plasmática de NEFA en cerdas lactantes. Mientras que Jones et al., (2002) observaron un incremento en los niveles de NEFA cuando la dieta contenía aceite de soja en comparación con la dieta control en hembras en lactancia. Basados en estos trabajos, se puede inferir que son necesarios más estudios para evaluar los factores dietarios que intervienen en la concentración plasmática de NEFA.

La mayor cantidad de NEFA en la sangre se origina de la grasa de la dieta o de las pérdidas de reserva corporal. Es probable que la cerda no pueda distinguir NEFA originados en la alimentación y NEFA provenientes de las reservas corporales. Cuando las dietas ricas en grasa aumentan la concentración plasmática de NEFA, es probable que se reduzca el rendimiento reproductivo (Van den Brand & Kemp, 2006).

Las pruebas sugieren que los ejes hipotalámico-hipofisario-gonadal son especialmente sensibles al estrés, incluido el calor (Ross et al., 2017). Los estudios muestran que animales sometidos a altas temperaturas emplean nuevas estrategias homeorréticas para dirigir las prioridades metabólicas y de selección de la ingesta de nutrientes o el balance energético (Baumgard & Rhoads, 2013). Las alteraciones de la fisiología sistémica apoyan un cambio en el metabolismo de los carbohidratos como los niveles de insulina circulante basales y estimulados (Sanz Fernández et al., 2015). Así pues, la respuesta al estrés térmico altera el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas independientemente de la reducción de la ingesta de alimento de combustible y su utilización por múltiples tejidos (Rhoads et al., 2013). Lo que genera gran variación en los estudios si se comparan animales bajo condiciones tropicales y aquellos en zonas templadas.

Por todo lo expuesto, reducir los efectos negativos de las altas temperaturas sobre hembras reproductoras es fundamental para el éxito del sistema productivo. A su vez, parece haber un fuerte nexo entre la nutrición y la reproducción mediada principalmente por el tipo de fuente energética del alimento. Teniendo en cuenta esto, a continuación, se detalla el empleo de grasa en dietas porcinas y más específicamente en dietas de cerdas reproductoras.

## **1.6. Explorando el uso de grasa en dietas porcinas**

### **1.6.1. Características generales**

Aumentar los niveles de grasa añadida en la dieta incrementará la energía disponible para el cerdo para el crecimiento, el mantenimiento y la reproducción; la grasa suplementaria también ralentiza la velocidad de paso del alimento a través del tracto digestivo, permitiendo más tiempo para una mejor digestión y absorción de otros nutrientes (Kim et al., 2007). Sin embargo, el aumento de la grasa añadida en los piensos compuestos se correlaciona con una menor dureza y durabilidad de los pellets (Thomas et al., 1998). Debido a la volatilidad de los costos de las materias primas, los nutricionistas están cada vez más interesados en maximizar la disponibilidad de energía procedente



de grasas y aceites para alcanzar los objetivos de rendimiento de las cerdas modernas de crecimiento rápido e hiperprolíficas.

Existe una amplia gama de grasas y aceites disponibles para su uso en la fabricación de alimento, incluidos los subproductos de la extracción de grasas, aceites vegetales, jabón acidulado y grasas hidrogenadas. Los principales componentes de las grasas y aceites son los triglicéridos (triacilglicerol): tres colas de ácidos grasos combinadas con una base de glicerol. A diferencia de las grasas animales o los aceites vegetales, otras fuentes de lípidos que se utilizan en las dietas animales, como las reservas de jabón acidulado, pueden estar compuestas por un 90 % de ácidos grasos libres (AGL). Sin embargo, incluso dentro de una misma fuente, las grasas y aceites varían ampliamente en términos de composición, estado oxidativo y palatabilidad, como informan Thng et al., (2020), Varona et al., (2021) y Wealleans et al., (2021a).

Claramente, el proceso de digestión de las grasas no está aislado de otros procesos digestivos en el intestino, y existen múltiples interacciones que influyen en su digestibilidad. Por ejemplo, se ha observado que, la digestibilidad de los aminoácidos aumenta a medida que aumentan los niveles de grasa añadida (Urriola et al., 2013). Por lo tanto, conocer el proceso y los factores que influyen en la digestión y absorción de las grasas es de gran interés para los nutricionistas. A pesar de su importancia en la nutrición y la formulación de piensos, y quizás debido a su diversidad de origen y composición, las grasas y los aceites son el ingrediente para piensos menos estudiado (Ravindran et al., 2016).

### **1.6.2. Clasificación**

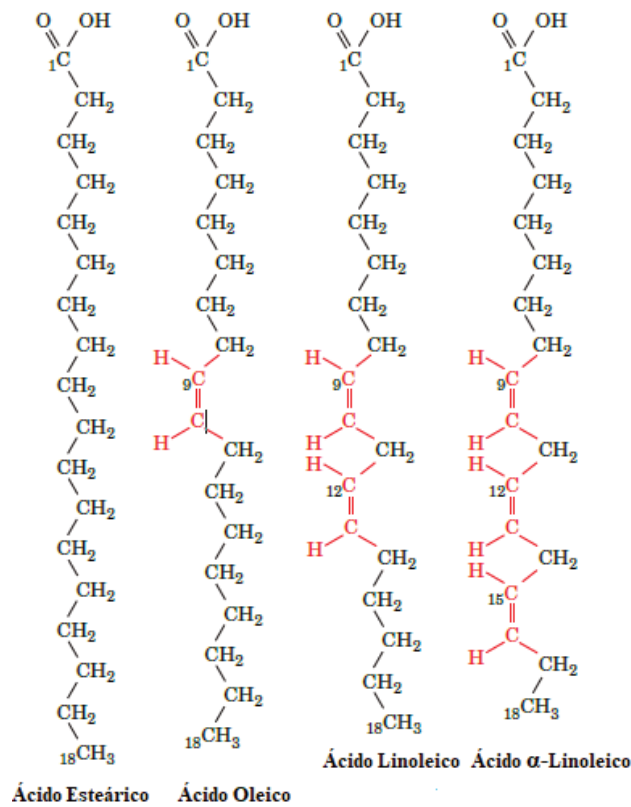
La clasificación de los lípidos en "grasas" y "aceites" es en gran medida histórica; por lo general, los "aceites" son lípidos de origen vegetal y son líquidos a temperatura ambiente, mientras que las "grasas" son de origen animal y suelen ser sólidas a temperatura ambiente. Hay notables excepciones a estas categorías, por ejemplo, el "aceite de ave". Científicamente, los lípidos se clasifican en tres categorías: triglicéridos, fosfolípidos y esteroides.

Los triglicéridos son el componente principal (~98 % del peso total) de las grasas y aceites utilizados en la alimentación animal (Boskou, 2015), con compuestos menores que representan una pequeña proporción del lípido total. Los triglicéridos, independientemente de su origen, son

solubles en disolventes orgánicos y están compuestos principalmente por estructuras de hidrocarburos, concretamente ácidos (grasos) monocarboxílicos  $[R-(CH^2)_n COOH]$ .

Los ácidos grasos se definen por la longitud de su cadena de carbonos (de C2 a C24; los ácidos grasos con una longitud de cadena inferior a 6 carbonos se consideran de cadena corta (AGCC), los que tienen entre 6 y 12 carbonos se consideran de cadena media (AGCM) y los que tienen más de 12 carbonos se consideran de cadena larga (AGCL)) y por su grado de insaturación: saturados (AGS), monoinsaturados (AGMI) y poliinsaturados (AGPI).

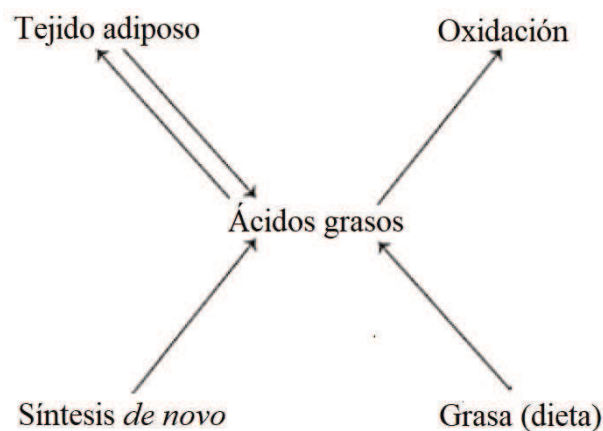
En nutrición, los ácidos grasos se suelen designar por la longitud de su cadena y el número de dobles enlaces (Figura 4; por ejemplo, el ácido linolénico se designa como C18:3). Sólo dos ácidos grasos (linoleico y linolénico) se consideran como ácidos grasos "esenciales" para los cerdos (National Research Council (NRC), 2012), ya que la síntesis endógena no puede satisfacer las necesidades biológicas.



**Figura 4.** Fórmulas estructurales de algunos C<sub>18</sub> ácidos grasos. Los dobles enlaces en la cadena son representados de color rojo. Fuente: adaptado de Voet et al., (2016).

Los ácidos grasos de cadena corta se producen de forma endógena como los principales productos finales de la fermentación bacteriana en el colon (Pluske et al., 1999) y, por lo general, se encuentran en concentraciones bajas de 58-69 mmol/kg de materia seca (MS), aunque pueden aumentar hasta 84-98 mmol/kg MS con el uso de dietas ricas en fibra (Hedemann & Bach Knudsen, 2007). Los ácidos grasos de cadena corta, en particular el butirato, constituyen una importante fuente de energía para los enterocitos intestinales (Claus et al., 2007) y a menudo se añaden a las dietas por sus beneficios en la salud intestinal.

Los ácidos grasos pueden proceder del consumo alimentario y de la síntesis *de novo* en el tejido adiposo de los cerdos (Azain, 2000). Los ácidos grasos son fuentes de energía y se metabolizan en tejidos corporales como el músculo para satisfacer las necesidades energéticas. Los ácidos grasos son actores centrales del metabolismo lipídico, pero los ácidos grasos libres no se almacenan en los tejidos, sino en estado esterificado como triacilglicerol. Tanto los ácidos grasos absorbidos como los sintetizados a partir de glucosa *de novo* pueden utilizarse para gastos energéticos (Figura 5).



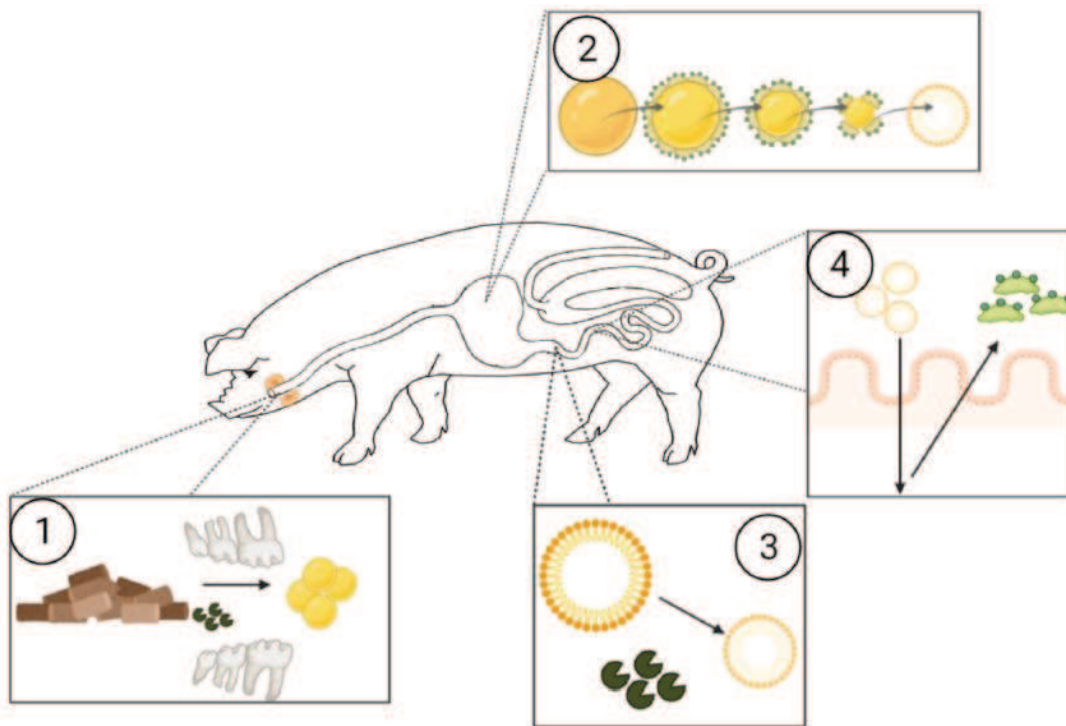
**Figura 5.** Los ácidos grasos son la unidad fundamental del metabolismo lipídico porcino. Tanto los ácidos grasos provenientes de fuentes externas (ingeridos) como internas (sintetizados *de novo* y almacenados en el tejido adiposo) pueden ser utilizados como fuente de energía a través de la oxidación o almacenados en forma de triglicéridos, principalmente en el tejido adiposo. Fuente: Adaptado de Chiba (2013).

### 1.6.3. Digestión y absorción de la grasa en el cerdo

La digestión de las grasas comienza desde el momento mismo del consumo del alimento, tal y como se muestra en la Figura 6. A medida que el pienso ingresa a la boca es expuesto a las enzimas salivales incluida la lipasa. En lechones neonatos, la actividad de la lipasa lingual y pancreática

puede estar presente en niveles similares o superiores a las lipasas gástricas (Dicklin et al., 2006), aunque su importancia biológica disminuye a medida que los cerdos envejecen (Moreau et al., 1988). Estas enzimas se mezclan además con el alimento durante la masticación, que a la vez libera triglicéridos de la matriz del pienso e inicia el proceso de emulsificación de los mismos.

En la fase gástrica, la hidrólisis primaria es de triglicéridos a diglicéridos y ácidos grasos libres y comienza la absorción directa de ácidos grasos libres de cadena corta (Yan et al., 2014). La liberación y absorción de estos AGL son un importante desencadenante de cascadas hormonales, incluida la respuesta de la colecistoquinina (CCK) que controla la saciedad y el hambre (Little et al., 2007).



**Figura 6.** Pasos fundamentales en la digestión de los lípidos: (1) Masticación: se libera la grasa de la matriz del alimento y la lipasa salival; (2) Estómago: la grasa se mezcla con los triglicéridos libres, las sales biliares y nutrientes liposolubles, creando gotas de emulsión; (3) Duodeno: las lipasas hidrolizan los triglicéridos en monoglicéridos y se forman micelas mixtas compuestas de triglicéridos, ácidos grasos libres y nutrientes liposolubles; (4) Las micelas mixtas se absorben a través de la pared intestinal y las sales biliares se devuelven a la vesícula biliar. Fuente: adaptado de Wealleans et al., (2021b).

En los seres humanos, las lipasas gástricas contribuyen hasta en un 40% a la digestión total de los lípidos pero las lipasas gástricas porcinas se inactivan irreversiblemente a pH 4 (Moreau et al.,

1988). A pesar de la acción tanto de las lipasas salivales como gástricas, la mayor parte de la grasa consumida se absorbe en el intestino delgado de los cerdos, con más del 70 % de la grasa que entra en el duodeno presente en forma de triglicéridos. Al entrar en el medio acuoso del duodeno, al cabo de una hora del consumo de pienso la mayoría de las grasas ingeridas aún no están emulsionadas (Wilfart et al., 2007) y, por tanto, están presentes en forma de gotas grandes.

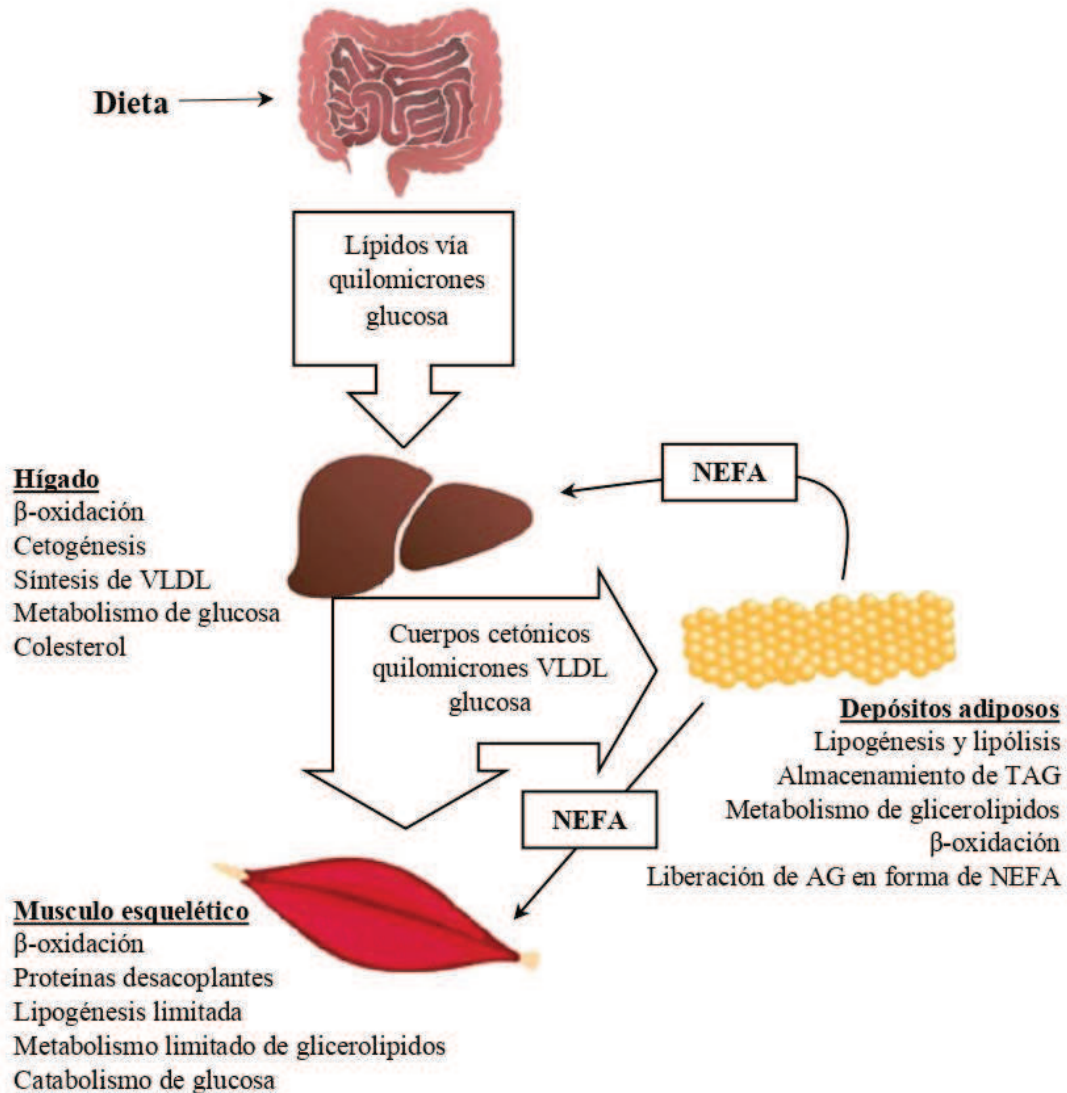
En el duodeno, las sales biliares y otros compuestos anfifílicos (por ejemplo, lipoproteínas, fosfolípidos, lisofosfolípidos) cubren la superficie de la grasa, donde empiezan a emulsionarse en gotas más pequeñas. La entrada de las gotitas de grasa en el duodeno estimula la liberación de bicarbonato sódico en el lumen, y la secreción de enzimas pancreáticas, como colipasa, lipasa, fosfolipasa y colesterol esterasa (Watanabe et al., 1988).

Los ácidos grasos endógenos, tras la lipólisis del triglicéridol (TAG) del tejido adiposo, pueden ser transportados en la circulación unidos a proteínas sanguíneas como ácidos grasos no esterificados (NEFA) a los tejidos para su oxidación. Tras su absorción, los ácidos grasos exógenos o dietéticos se transportan en forma de lipoproteínas sanguíneas (quilomicrones) a los distintos tejidos (Kerr et al., 2015). Los NEFA pueden entrar en las células directamente con un transportador, mientras que los ácidos grasos exógenos unidos a TAG en los quilomicrones deben ser liberados por la lipoproteína lipasa antes de ser absorbidos por los tejidos. La digestión de las grasas, la síntesis de ácidos grasos *de novo*, la lipólisis, el transporte de lipoproteínas y el transporte de NEFA son todos eventos críticos en el metabolismo de los lípidos (Lin et al., 2013).

Durante el proceso de absorción intestinal, los ácidos grasos (en forma de TAG) se unen a los quilomicrones y se canalizan a través de la linfa hacia la sangre canalizados a través de la linfa hasta la sangre circulante (Figura 7). En los cerdos, la síntesis de ácidos grasos *de novo* a partir de la glucosa se produce principalmente en el tejido adiposo (Bergen & Mersmann, 2005), y si no se oxidan se almacenan como triacilglicerol.

Las grasas almacenadas en el tejido adiposo liberan ácidos grasos para su utilización tras la lipólisis y se transportan en la sangre como no-NEFA, mientras se unen a las proteínas de la sangre. Los ácidos grasos de los quilomicrones son liberados por las lipasas de las lipoproteínas para su utilización tisular, y el NEFA resultante es absorbido principalmente por el músculo esquelético,

el tejido adiposo y el hígado. Una vez en el hígado, cualquier exceso de NEFA se esterifica en TAG y es liberado por el hígado en forma de lipoproteínas de muy alta densidad.



**Figura 7.** Tráfico de lípidos entre el intestino, hígado, músculo esquelético y tejido adiposo en cerdos. Abreviaturas: NEFA (ácidos grasos no-esterificados), VLDL (lípidos de muy baja densidad) y TAG (triacilglicerol). Fuente: Adaptado de Chiba (2023).

#### 1.6.4. Efectos biológicos

Debido a la mayor densidad energética de la grasa en comparación con carbohidratos y proteínas uno de los efectos más pronunciados es la disminución de la ingesta absoluta de alimento. Este efecto se explica en gran medida por el efecto de la grasa en la densidad energética de la dieta.

Cuando las ingestas se expresan en función de la energía, por ejemplo, la ingesta es similar (Azain et al., 1992). Sin embargo, este efecto puede ser nulo o incluso aumentar el consumo en situaciones de altas temperaturas (Wang et al., 2022). En el tubo digestivo, la grasa tiene el efecto de ralentizar la velocidad de paso, lo que mejora la digestibilidad de otros nutrientes. Esto se conoce como el "efecto extra-calórico" de la grasa (Li & Sauer, 1994).

Uno de sus efectos más notorios, es el menor incremento térmico y su mayor eficiencia de utilización. El menor incremento térmico de la grasa puede ser una ventaja en climas cálidos en los que la ingesta de alimento se ve comprometida. Varios estudios sugieren una mejora del rendimiento en cerdos sometidos a estrés térmico alimentados con dietas ricas en grasa (Coffey et al., 1982; Quiniou et al., 2008; Rosero et al., 2012b).

En animales en crecimiento alimentados por encima del nivel de mantenimiento, una parte significativa de los ácidos grasos de la dieta se deposita en forma de ácidos grasos en el tejido adiposo. El proceso de depositar los ácidos grasos de la dieta en grasa en los depósitos tisulares es energéticamente más eficiente que el proceso de convertir los carbohidratos de la dieta en ácidos grasos tisulares (Patience et al., 1995; Lin et al., 2013). Sin embargo, el mayor interés por el uso de grasas en las dietas porcinas se ha centrado en la nutrición de las cerdas reproductoras, ya que la evidencia sugiere que podría reducir los efectos negativos del estrés calórico sobre la eficiencia productiva y reproductiva subsecuente (Rosero et al., 2012a).

#### **1.6.5. Uso de grasa en cerdas reproductoras**

El principal objetivo de una cerda durante la lactancia es proteger a sus lechones de la desnutrición: para asegurar su crecimiento, sacrificará sus propias reservas corporales movilizándolo músculo y grasa para producir suficiente leche para mantener el crecimiento de sus lechones (Wealleans et al., 2021b).

Con la cerda moderna, destetando hasta (o en algunos, casos más de) 35 lechones al año, esta movilización de las reservas corporales puede ser extrema. Estas pérdidas tienen un gran impacto en el éxito reproductivo de la cerda en la siguiente lactación. Thaker & Bikei (2005) propusieron una relación curvilínea entre la pérdida de peso en lactación y la duración del intervalo destete-servicio en la lactación siguiente. Dado que el fracaso reproductivo es la causa principal de descarte

esta relación demuestra la importancia de minimizar la pérdida de peso de la cerda para su longevidad futura.

La suplementación con grasa ha demostrado tener efectos positivos sobre las hembras modernas de alta productividad (Quiniou et al., 2008) especialmente en aquellas criadas bajo condiciones de altas temperaturas (Rosero et al., 2012b).

La evidencia sugiere que la adición de grasa a dietas de hembras en el último tercio de gestación incrementa la supervivencia neonatal y pre-destete (Cho & Lim, 2012), posiblemente debido a la mayor deposición de glucógeno y grasa en el feto (Newcomb et al., 1991), y al incremento del contenido graso del calostro (Schoenherr et al., 1989; Tilton et al., 1999b; Lauridsen & Danielsen, 2004; Bai et al., 2017). Este efecto es más notorio cuando el porcentaje de supervivencia de la camada es menor al 80% (Seerley, 1984).

Sin embargo, aunque aumentar la ingesta de grasa o energía en la dieta parece en gran medida beneficioso para la cerda, los altos niveles de ingesta de grasa en cerdas gestantes han demostrado estar negativamente correlacionados con el desarrollo folicular de las crías hembras (Xu et al., 2016). Además de un menor número de folículos y ovarios más pequeños, las crías de cerdas alimentadas con dietas de gestación ricas en grasa presentaban un mayor grosor de la grasa dorsal tanto antes como durante la pubertad. El grosor excesivo de la grasa dorsal no solo es un problema en los cerdos de engorde, sino que en las cerdas jóvenes puede causar una disminución de la ingesta de alimento durante la lactación y llevar a un rendimiento reproductivo pobre, y una reducción de la longevidad reproductiva.

Fainberg et al., (2014) descubrieron que el aumento de los niveles de grasa añadida en las dietas de cerdas gestantes aumentaba la maduración del músculo bíceps femoral de los lechones a los 7 días lo que potencialmente mejora el crecimiento y el rendimiento de los lechones tras el destete, aunque dietas similares también disminuyeron la capacidad de defensa antioxidante del músculo esquelético, lo que podría tener consecuencias a largo plazo en la homeostasis energética (Zou et al., 2016). En general, estos cambios pueden asignarse a la estimulación de una mayor ingesta de energía por parte de las cerdas alimentadas con dietas ricas en grasa (Schoenherr et al., 1989; Pettigrew & Moser, 1991; Tilton et al., 1999), impulsado por la alta densidad energética de la grasa



y el bajo incremento de calor asociado a la digestión y metabolismo de la grasa (O' Grady et al., 1985; Schoenherr et al., 1989).

En cuanto al efecto de la adición de grasa sobre la ganancia diaria promedio de la camada, los resultados indicarían que no existe tal efecto (Pettigrew, 1981; Keesecker et al., 1986). Sin embargo, cuando las hembras están expuestas a altas temperaturas la adición de grasa mejoró este indicador (Wang et al., 2022). El tiempo de suplementación también es un factor a considerar, ya que cuando la grasa es adicionada durante la gestación existen mejoras significativas en la supervivencia de la camada que cuando se realiza después del parto (Seerley, 1984). Al parecer la adición de grasa en la gestación tardía no tiene efectos sobre el peso de nacimiento de los lechones, mientras que, en lo referido a la pérdida de peso durante la lactancia, la evidencia sugiere que la adición de grasa mejoraría este aspecto, pero sin llegar a ser significativo (Pettigrew, 1981; Pettigrew & Moser, 1991).

La mayoría de los experimentos han usado entre un 7.5 y 15% de inclusión de grasa en las dietas, rango en el cual se encontraron las mayores respuestas en supervivencia y ganancia de peso de lechones al destete (Lauridsen & Danielsen, 2004). Sin embargo, Neal et al., (1999) encontraron que niveles de 3% de grasa en la dieta de cerdas lactantes se relacionaban con mayores pesos al destete, mientras que altos porcentajes de inclusión (9 - 10%) se correspondían con mayor número de lechones momificados, con respecto al grupo control. Aun con todo esto, los niveles óptimos de inclusión de grasa en la dieta no están claros.

Las respuestas en la relación a la fuente y nivel de grasa muestran discrepancias en los resultados. En una revisión de 13 trabajos publicados entre 1989 y 2012, Rosero et al., (2016) encontraron que: 1) no hay diferencias significativas en la ingesta diaria de energía de cerdas lactantes al variar la fuente de grasa en la dieta, 2) que los trabajos que evalúan este aspecto en relación a distintos niveles de inclusión son escasos, 3) que la relación entre niveles de suplementación de grasa y aumento de la producción de leche aún no está clarificada, 4) que el impacto de la adición de grasa sobre la reproducción subsecuente de las hembras requiere de más estudios para llegar a resultados concluyentes y 5) que la respuesta a la suplementación con lípidos es significativamente mayor en hembras bajo estrés calórico en comparación con aquellas bajo condiciones de termoneutralidad.

En cerdas lactantes, la adición de grasa a la dieta puede mejorar el rendimiento reproductivo, especialmente cuando las cerdas están sometidas a estrés térmico (Cox et al., 1983; Spencer et al., 2003) mejorando las tasas de concepción y parto y el tamaño de la camada (Rosero et al., 2012a). Como demostraron Lauridsen & Danielsen (2004), el aumento de los niveles de grasa añadida en las dietas de lactación incrementa sustancialmente la ingesta de energía tanto antes como después del parto; el aumento de la ingesta de energía reducirá el balance energético negativo y apoyará la mejora del rendimiento (Averette et al., 1999; Che et al., 2015). Estas mejoras en la condición de la cerda con el aumento de grasa en la dieta van acompañadas de cambios en la concentración de grasa en el calostro y la leche (Beyer et al., 2007; Park et al., 2008; Rosero et al., 2015).

La evidencia sugiere que el intervalo destete-celo se reduce con la incorporación de grasa en la dieta y que este efecto tiende a ser más marcado en cerdas bajo estrés calórico que aquellas en termoneutralidad (Shurson et al., 1986; Peng et al., 2019; Wang et al., 2022). De similar modo, el consumo diario de alimento disminuye al incorporar grasa en la dieta, pero al tomar en cuenta la temperatura ambiental, a mayor temperatura el consumo de alimento parece incrementarse en consecuencia (Schoenherr et al., 1989; Christon et al., 1999; Christon et al., 2005)

Con todo lo anteriormente expuesto se resalta significativamente la incorporación de grasa en dietas de cerdas como estrategia para lograr la mejora de la performance productiva y reproductiva, principalmente en zonas de altas temperaturas. La adición de grasa puede emplearse como estrategia nutricional de importancia en el sistema productivo, sin embargo, los trabajos sobre esta temática en condiciones subtropicales reales son escasos.

No existen trabajos que comparen sistemas de producción (intensivo y a campo), ni establezcan la relación entre los beneficios de la inclusión de grasa y la estación del año en zonas subtropicales. Además, los niveles de hormonas y metabolitos con estos factores en consideración tampoco han sido extensamente estudiados.

Es por esto que en la presente investigación se ha definido la siguiente hipótesis para ser abordada y se han definido los objetivos para testarla.

### **1.7. Hipótesis general**

La inclusión de grasa en dietas de gestación y lactancia influye positivamente sobre los parámetros reproductivos y productivos de cerdas en sistemas a campo y confinado en el Sudoeste Chaqueño. En cerdas alojadas en un sistema confinado, dicha inclusión modificará los niveles de insulina, glucosa, LH y NEFA post-destete.

CAPÍTULO II  
OBJETIVOS

## **2.1. Objetivo General**

- Evaluar el efecto de niveles de inclusión de grasa sobre la performance reproductiva y productiva de cerdas en distintos sistemas de producción en el sudoeste chaqueño.

## **2.2. Objetivos específicos**

- Determinar el efecto de la inclusión de grasa en dietas de gestación tardía y lactancia sobre la performance reproductiva y productiva de cerdas bajo dos sistemas de producción: a campo y confinado.
- Evaluar el efecto de la inclusión de grasa en dietas de gestación y lactancia sobre los niveles de insulina, glucosa, NEFA y LH en cerdas bajo un sistema de producción confinado.
- Analizar la relación entre los niveles de hormonas/metabolitos y los parámetros reproductivos y productivos.

CAPÍTULO III  
MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Bienestar animal

Todos los procedimientos sobre los animales empleados para este trabajo, fueron aprobados por el Comité Asesor de Ética y Seguridad (CAES) de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Nacional del Litoral (FCV-UNL; Expediente FCV-0898035-17) y el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales de Experimentación (CICUAE) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) bajo el protocolo asignado N° 009.

### 3.2. Manejo de animales

Sesenta hembras (n=60; Yorkshire x Landrace) fueron seleccionadas del plantel productivo de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Las Breñas-Chaco. Dicha selección se realizó teniendo en cuenta los criterios recomendados por la casa de genética, entre los cuales se encuentran: peso mínimo al nacimiento ( $\geq 1.2$ kg), buena condición corporal, sin defectos en la columna o vulva, sin hernias inguinales y/o umbilicales, sin defectos en el hocico ni en la línea de aplomos y con un mínimo de 14 pezones funcionales distribuidos de manera homogénea en la línea mamaria.

Los animales tenían homogeneidad en edad ( $240 \pm 3$  días), peso ( $155 \pm 1.05$ kg) al primer servicio y estado sanitario. Se conformaron dos grupos G1 (n=30) y G2 (n=30) destinándose cada uno a sistemas de producción distintos. El grupo G1 permaneció en las instalaciones del INTA, la cual pasó a ser el sistema a campo (SC;  $27^{\circ}04'19.6''S$   $61^{\circ}03'23.2''W$ ). Mientras que las hembras del grupo G2 fueron trasladadas a una granja comercial de 300 madres ubicada en la localidad de Concepción del Bermejo, Chaco, conformando el sistema intensivo (SI;  $26^{\circ}35'30.1''S$   $60^{\circ}59'16.2''W$ ). El manejo de las hembras, dentro de ambos sistemas, consistió en bandas con servicios mensuales mediante monta natural con machos adultos de iguales características genéticas y estado sanitario mediante sistema dirigido de montas con intervalos de 12hs entre las mismas. Este manejo permitió planificar las tareas (servicios, partos y destetes) y llevarlas a cabo en el mismo momento y a intervalos regulares de tiempo sin alterar el funcionamiento y logística interna de la granja del SI.

Para la conformación de las bandas y a fin de contar con una fecha fija de presentación de celos y llevar a cabo un mejor control de los partos, se implementó por única vez en todas las hembras un protocolo de sincronización de celo en el alimento con Altrenogest 0.4% previo a su primer

servicio. Dicho protocolo tuvo una duración de 18 días corridos en cada banda. Los celos se presentaron en un 98% de las hembras entre los días 4 y 5 posteriores a la última dosis del sincronizador. El primer servicio de las hembras fue realizado a los 8 meses de edad con 155 +/- 1.05 kg. La edad del destete fue de 21 +/-1 día, de acuerdo al manejo interno de ambos sistemas. Se realizó la adopción de lechones (*cross-fostering*) luego de las 24 hs. post-nacimiento para garantizar un correcto calostrado y asegurar la mínima diferencia de lechones entre camadas de la misma banda.

### 3.3. Instalaciones

#### 3.3.1. Sistema a campo

El SC constó de un área de gestación y un área de maternidad. La zona de gestación estuvo compuesta por 4 lotes de 0.33 has cada uno, separados entre sí por hilo boyero de 2 hilos a 0.30m del suelo (Figura 8B). Por cada lote, fueron instalados dos chupetes automáticos de acero inoxidable (tipo “nipple”) a una altura de 0.80m del suelo y una angulación de 90°. De esta manera, todos los animales contaron con agua a discreción. A su vez, en cada lote se construyó un reparo artificial para las hembras (Figura 8A).



**Figura 8.** (A) Hembras reposando junto a uno de los bebederos y reparos artificiales en pleno proceso de armado y montaje; (B) Hembras dispuestas en línea sobre el alambrado eléctrico.

Su estructura central fue construida utilizando con caños de acero inoxidable, mientras que para el techo se emplearon lonas tipo “silo bolsa” de 500  $\mu\text{m}$ . La altura de los mismos, en su parte más alta, llegaba a los 2.3m y cubría una superficie de 12m<sup>2</sup> (2m<sup>2</sup> por hembra). En el interior de cada reparo se dispuso de una cama de rollo de alfalfa que se renovaba regularmente.



A fin de garantizar el consumo individual de cada dieta experimental, en cada lote fueron construidos comederos de madera separados entre sí por medio de estructuras del mismo material. La dimensión de cada comedero construido fue de 489 mm de largo x 357 mm de ancho y 284 mm de profundidad. Mientras que la medida de la estructura en que ingresaba cada hembra para alimentarse fue de 1.80 x 0.60 x 1.10 m. Cada lote alojaba a una banda de 6 hembras, las cuales cinco a siete días previos a la fecha probable de parto (FPP) eran trasladadas al área de maternidad. La misma consistió en un lote de 0.50has subdividido por medio de boyero eléctrico en 6 parcelas de 25 x 12 m. Cada hembra contó con su respectiva paridera, la cual correspondía al modelo alpino: de forma triangular, construida de madera blanda, recubierta con chapa y sujeta a un armazón de hierro estructural (Figura 9A). Contaba con una puerta anterior y otra posterior para la libre circulación de la hembra. En su interior, presentaba dos barras en paralelo a modo de barras antiplastamiento para los lechones. El techo era móvil, permitiendo levantarlo o bajarlo dependiendo de la temperatura del día (Figura 9B).



**Figura 9.** (A) Estructura de armazón de hierro y (B) sistema de apertura de techos para circulación del aire de las parideras a campo empleadas en el SC.

Las dimensiones de la misma eran de 2.5 x 2 x 1.60m. El espacio destinado para la madre era de 2.5 x 0.60m mientras que el área restante era destinada para los lechones. Para los mismos, se dispuso cama de aserrín y fuente de calor (lámpara infrarroja de 250 watts). Cada hembra contó con comedero individual de mampostería y provisión a discreción de agua por medio de chupetes de similares características que los instalados en el área de gestación. El suministro de alimento para los lechones al pie de la madre se realizó a través de comederos tipo plato iniciador de polipropileno ubicados en el interior de la paridera. El área de maternidad contó con 6 parideras adicionales, las cuales alojaban a la siguiente banda, mientras que las parideras previamente

ocupadas eran limpiadas y desinfectadas para el vacío sanitario. Luego del destete (21 días) la banda de hembras es servida y retorna al área de gestación reiniciando otro ciclo.

### 3.3.2. Sistema intensivo

Para el SI, se emplearon las instalaciones brindadas por una granja comercial de 300 madres ubicada en la localidad de Concepción de Bermejo, Chaco. Se utilizó un galpón de 50 x 12 x 3.5 m. para la etapa de gestación y módulos de 10 x 11 x 3m para la maternidad (Figura 10 A y B).



**Figura 10.** Instalaciones de la granja comercial empleada como sistema intensivo: (A) Galpón de gestación y módulos de maternidad; (B) Módulos de maternidad con cortina forestal de fondo.

El galpón de gestación contaba con piso de slats de hormigón mientras que los módulos maternidad con piso de slats de plástico. El techo del galpón y módulos contaba con un tratamiento de espuma de poliuretano expansible como aislante térmico. La regulación de la temperatura dentro de las instalaciones se realizaba manualmente a través de cortinas reguladas por medio de malacates. El galpón de gestación contaba con jaulas de hierro liso D: 16mm y caño estructural negro D: 5/8" y espesor 1.6mm (Figura 11 A y B). Sus dimensiones eran de 2234mm largo y 600mm ancho. Cada una contaba con sus respectivos comederos tipo batea de polietileno de alta densidad. El suministro de agua era a discreción por medio de un sistema de canaleta. Siguiendo un manejo similar al llevado a cabo en el SC, las hembras eran trasladadas a las naves de maternidad entre 5 y 7 días previos a la FPP. Una vez allí, eran ubicadas en sus respectivas jaulas de maternidad (Figura 12 A - D). Las mismas estaban fabricadas con caños galvanizados, poseían laterales de ancho regulable y barras anti-aplaste. Sus dimensiones eran de 2200 mm de largo, 950mm de ancho y 1090mm de alto.



**Figura 11.** Interior del galpón de gestación en el sistema intensivo. (A) Jaulas de gestación y sistema de comederos y provisión de agua; (B) Animales dispuestos en las jaulas de gestación junto con línea de comederos, ventiladores y sistema de goteo.



**Figura 12.** (A y B) Hembras alojadas en las jaulas de maternidad previo a la FPP; (C) Cerda amamantando a sus lechones a pocos días del parto; (D) Cerda junto con sus lechones próximos a destetarse.

Las jaulas se encontraban emplazadas en boxes de maternidad de 1.80 m x 2.40 m. lo cual permitía contar con un área destinada para los lechones. Poseía divisorias de PVC de 22mm de espesor x 508mm alto con soportes metálicos en los vértices de la plaza, como unión de las divisorias que la delimitan respecto de la plaza contigua y de los pasillos. Los lechones contaban a su vez con campanas y mantas térmicas.

### 3.4. Dietas y manejo de la alimentación

Tanto en el G1 como en el G2, tres grupos con igual número de hembras (n=10) fueron conformados y se les fueron asignados de manera aleatoria a los tratamientos D0, D1 y D2, correspondientes a dietas de gestación y lactancia con diferentes niveles de inclusión de grasa (Tabla 1).

**Tabla 1.** Dietas empleadas en el experimento con sus respectivas fases y niveles de inclusión de grasa.

<b>Dieta</b>	<b>Fases</b>	<b>Inclusión de grasa (%)</b>
D0	Gestación y lactancia	0
D1	Gestación y lactancia	3.5
D2	Gestación y lactancia	7

Todas las dietas fueron formuladas respetando los requerimientos establecidos por la genética empleada y las del NRC (2012). Las materias primas empleadas y la composición química de las dietas experimentales tanto para las fases de gestación y lactancia se encuentran detalladas en la Tabla 2.

La grasa empleada corresponde a una grasa protegida de origen vegetal. La misma se encontraba elaborada a partir de ácidos grasos provenientes de aceites vegetales (soja y girasol) e hidróxido de calcio. Este último, empleado para la encapsulación de los ácidos grasos, a fin de facilitar su absorción directa en el intestino delgado.

La forma de presentación de la grasa fue en bolsas de 25 kg. Esto permitió su fácil pesado e incorporación por los operarios de la planta de alimento balanceado durante el proceso de elaboración del alimento. Las características de la grasa empleada se encuentran detalladas en la Tabla 3.

**Tabla 2.** Porcentaje de inclusión de ingredientes y composición química de las dietas experimentales.

Dietas	D0		D1		D2	
	Gestación	Lactancia	Gestación	Lactancia	Gestación	Lactancia
<i>Inclusión (%)</i>						
Expeller de soja	22.50	38.50	22.80	39.30	23.20	39.80
Maiz	54.50	58.50	42.70	54.20	38.80	50.20
Afrechillo de trigo	20.00	-	28.00	-	28.00	-
Premezcla gestación	3.00	-	3.00	-	3.00	-
Premezcla lactancia	-	3.00	-	3.00	-	3.00
Grasa	-	-	3.50	3.50	7.00	7.00
<i>Composición química (%)</i>						
Materia seca	90.13	91.68	90.47	92.12	90.88	92.83
Proteína cruda	17.11	20.50	17.02	20.50	16.86	20.50
Energía Metabolizable*	3.194	3.447	3.202	3.505	3.260	3.503
Lisina	0.85	1.30	0.85	1.31	0.85	1.32
Dig. Lisina	0.70	1.09	0.70	1.10	0.70	1.12
Dig. Metionina	0.24	0.23	0.22	0.27	0.27	0.28
Dig. Triptófano	0.17	0.17	0.17	0.23	0.23	0.24
Dig. Treonina	0.44	0.43	0.42	0.61	0.61	0.62
Dig. Arginina	1.01	1.05	1.04	1.33	1.34	1.35
Dig. Valina	0.28	0.27	0.26	0.17	0.16	0.14
Grasa Cruda	5.19	8.43	11.78	6.08	9.46	12.85
Fibra cruda	3.91	2.79	4.34	2.71	4.25	2.65
Calcio	0.99	0.87	1.00	0.87	1.00	0.86
Fósforo total	0.60	0.65	0.65	0.64	0.64	0.66
Fosforo disponible	0.40	0.41	0.41	0.38	0.38	0.37
Selenio	0.32	0.32	0.32	0.39	0.39	0.40
Sodio	0.13	0.12	0.12	0.17	0.16	0.17
Cloro	0.19	0.19	0.19	0.25	0.25	0.25
Cenizas	5.42	5.50	5.68	5.51	5.66	5.53

\* Expresada en Mcal. /Kg.MS.

Todas las hembras de ambos grupos consumieron la dieta de gestación D0 desde el día del servicio hasta el día 90 de gestación. A partir del día 91 de gestación y hasta el día del parto, cada hembra consumió la dieta que se le fuera asignada de manera aleatoria (D0, D1 o D2). Desde el día posterior al parto y hasta el siguiente servicio las hembras consumieron las dietas de lactancia que le correspondiese según su tratamiento. Este mecanismo era repetido en cada ciclo para asegurar que cada hembra desde el día 90 de gestación y hasta el siguiente servicio consumiera siempre la misma dieta experimental (tratamiento).

Durante la gestación, el alimento fue ofrecido de manera restringida a razón de 2.5kg/hembra dos veces al día (a las 8:00 am y a las 18:00 pm). Mientras que durante la lactancia las hembras contaban con alimentación *ad libitum*.

**Tabla 3.** Composición química de la grasa empleada en las dietas experimentales.

<b>Composición</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Humedad	%	3.5
Grasa cruda	%	84.0
Cenizas	%	12.6
Calcio	%	9.0
Ácido mirístico (C14:0)	%	0.2
Ácido palmítico (C16:0)	%	11.4
Ácido esteárico (C18:0)	%	4.6
Ácido oleico (C18:1)	%	23.5
Ácido linoleico (C18:2)	%	52.0
Energía bruta	(Mcal. /Kg. MS)	7.7
Energía digestible	(Mcal. /Kg. MS)	6.1
Digestibilidad	Coefficiente	0.8

En la gestación y lactancia la forma de presentación del alimento era de molido fino. Los lechones recibían alimentación al pie de la madre a partir del día 10 de vida en forma de micro-pellets por medio de platos tipo iniciador fijados en el interior de la plaza de maternidad.

Durante todo el experimento se llevaron a cabo controles rutinarios del alimento y de las materias primas. Las muestras eran recolectadas y enviadas para su análisis una vez al mes en los laboratorios de la empresa proveedora del alimento para determinaciones de granulometría y composición química (humedad, proteína bruta y cenizas). Mientras que cada seis meses se llevaba a cabo un análisis de presencia de micotoxinas tanto en las materias primas como en el alimento.

### **3.5. Variables de estudio**

Todas las variables descritas a continuación (a excepción de las hormonales y metabolitos), fueron medidas en la totalidad de las hembras (n=60) y sus respectivas camadas en ambos sistemas durante el período comprendido entre octubre de 2018 a junio de 2020 (1° a 4° parición de las hembras).

### 3.5.1. Variables productivas y reproductivas

Se registró el número de lechones nacidos vivos (LNV), número de lechones nacidos muertos (LNMu) y número de lechones momificados (LNMo). La sumatoria de las variables antes descritas conformó el número de lechones nacidos totales (LNT). Empleando una balanza digital portátil, se pesaron todos los LNV de cada camada para el registro del peso de la camada al nacimiento (PCN).

Al momento del destete a los  $21 \pm 1$  días, se registraba el número de lechones destetados (LD) y se los pesaba mediante el uso de una balanza electrónica para determinar el peso de la camada al destete (PD). Realizando la diferencia entre los lechones destetados y el número de lechones luego de realizar el cross-fostering (24 hs post-nacimiento), se obtuvo la supervivencia pre-destete de la camada. La diferencia obtenida entre el peso de la camada al destete y el peso de la camada al nacimiento dividido por los días de lactancia ( $21 \pm 1$  días) permitió obtener la ganancia diaria de peso (GDPV) promedio de la camada.

En lo que respecta a las hembras, las mismas fueron pesadas individualmente dentro de las 24 hs posteriores al parto y al destete. La diferencia entre el peso al parto y el peso al destete fue realizada para obtener variación del peso corporal ( $\Delta BW$ ). Los valores negativos indican pérdida de peso corporal durante la lactación, mientras que los valores positivos indican un aumento del peso corporal de la hembra a lo largo de la lactancia.

Para la estimación del consumo diario de alimento (ADFI) se pesó todo el alimento ofrecido y el remanente en los comederos durante la lactancia y se lo dividió por la duración de la misma ( $21 \pm 1$  días). El consumo diario de energía (ADEI) fue obtenido mediante el producto entre el ADFI y la concentración energética de la dieta experimental que consumió dicha cerda (D0, D1 o D2) durante la lactancia. Se registró el intervalo destete-celo (IDC) de todas las cerdas. Para ello, previo al inicio del experimento, el personal de gestación de ambos sistemas (SC y SI) fue entrenado mediante talleres teóricos-prácticos con el objetivo de instruir, actualizar y eliminar dudas, acerca de la correcta técnica de detección de celo. Para la misma, se monitoreaba diariamente a las hembras desde el día posterior al destete y entre dos a tres veces al día, utilizando estímulos de verraco. Se tomó como signo más importante de celo el reflejo de inmovilidad de la cerda (cerda inmóvil al momento de recibir presión en el dorso-lomo y en presencia del macho).

### 3.5.2. Variables medioambientales

Para el registro de la temperatura ambiental (°C) y humedad relativa (%), se emplearon termohigrómetros digitales (Temlog 20H; Figura 13) ubicados en la sección media del galpón de gestación y de una sala de maternidad en el SI, y bajo un reparo artificial y entre las parideras, en el SC. Se buscó evitar la incidencia directa del sol y del alcance de los animales. La frecuencia de registro fue cada 1 hora y durante toda la duración del experimento.

### 3.5.3. Variables hormonales y metabolitos

El día del destete (correspondiente al 4° parto de las hembras) y en los días 3, 5 y 7 posteriores, se tomaron 5ml de muestras de sangre mediante venopunción de la vena yugular externa en todas las hembras del SI (n=30). Para ello, las hembras se encontraban inmovilizadas mediante un lazo en la región del morro. Se buscó minimizar el estrés ocasionado mediante entrenamiento del personal y acostumbramiento de los animales a la técnica. Una vez que el animal se encontraba inmovilizado, se procedía a la limpieza de la zona con solución de Pervinox y, utilizando agujas hipodérmicas 18G x 2 (50/12), se procedía a la extracción de la muestra (Figura 14 A y B).



**Figura 13.** (A y B) Procedimiento de extracción de sangre por vena yugular externa con cerdas inmovilizadas mediante lazo en el morro.

Las muestras eran recolectadas en tubos de polipropileno refrigerados y puestos inmediatamente en hielo y centrifugados a 3000 rpm x 10 min. Las muestras de suero eran congeladas a -20°C hasta



su envío al laboratorio para su análisis (Laboratorio Mega S.A., Rafaela, Santa Fe, Argentina). Todas las muestras fueron tomadas 15 minutos previos al primer alimento del día y a los 60 minutos posteriores al mismo. Las muestras de suero tomadas el día del destete, y los días 3, 5 y 7 posteriores al mismo, a los -15 y 60min relativos a la primera comida del día, fueron analizadas para glucosa (g/l; método enzimático de hexoquinasa UV) e insulina (Uu/ml; electroquimioluminiscencia). Las muestras de suero tomadas el día del destete, y los días 3, 5 y 7 posteriores al mismo, a los 60min relativos a la primera comida del día, fueron analizadas para ácidos grasos no-esterificados (NEFA; mmol/l; electroquimioluminiscencia) y hormona Luteinizante (LH; mU/ml; método enzimático).

### 3.6. Diseño y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue un diseño completamente aleatorizado (DCA). Tomando como medidas de ajuste los criterios de información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC), se seleccionó y ajustó un modelo estadístico para medidas repetidas en el tiempo que consideró los efectos de la dieta, el sistema, número de parto y sus interacciones. El modelo matemático, en su forma generalizada, puede expresarse de la siguiente manera:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \lambda_k + \alpha\beta_{ij} + \alpha\lambda_{ik} + \beta\lambda_{jk} + \alpha\beta\lambda_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

- $Y_{ijk}$  = valor de la variable dependiente para en la i-ésima dieta, j-ésimo sistema y k-ésimo parto.
- $\mu$  = media general.
- $\alpha_i$  = efecto de la i-ésima dieta (i= D0, D1 y D2).
- $\beta_j$  = efecto del j-ésimo sistema (j = SC y SI).
- $\gamma_k$  = efecto de la k-ésimo parto (k= 1, 2, 3, 4).
- $\alpha\beta_{ij}$  = interacción entre la i-ésima dieta y el j-ésimo sistema.
- $\alpha\lambda_{ik}$  = interacción entre la i-ésima dieta y el k-ésimo parto.
- $\beta\lambda_{jk}$  = interacción entre el j-ésimo sistema y el k-ésimo parto.
- $\alpha\beta\lambda_{ijk}$  = interacción entre la i-ésima dieta, j-ésimo sistema y k-ésimo parto.
- $\varepsilon_{ijk}$  = término de error aleatorio asociado a cada observación.

Previo al análisis, se testearon los supuestos de normalidad, homogeneidad e independencia para todas las variables mediante análisis de Q-Q plot y residuos vs predichos. Se realizó análisis de la varianza (ANOVA) y comparaciones múltiples “a posteriori” mediante LSD de Fisher. Para modelar la relación entre observaciones consecutivas en el tiempo se aplicó una función de correlación autoregresiva de orden 1 (AR1) con parto como efecto repetido.

Dada la respuesta lineal para las variables de consumo diario de alimento y consumo diario de energía (Wang et al., 2022) se aplicó un análisis de regresión cuyo modelo matemático generalizado puede expresarse de la siguiente manera:

$$Y_{ij} = \alpha + \beta X_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

- $Y_{ij}$ = observación de la variable dependiente bajo el i-ésimo nivel de X, en la j-ésima unidad experimental.
- $X_i$ = i-ésimo valor de la variable independiente.
- $\alpha$  = ordenada al origen.
- $\beta$  = pendiente o tasa de cambio.
- $\varepsilon_{ij}$  = variación aleatoria o no explicada por el modelo.

Para determinar el nivel de asociación de las estaciones del año y las variables productivas y reproductivas medidas se empleó el test de correlación de Spearman ( $\rho$ ). Tomando en consideración la distribución de los eventos reproductivos a lo largo del periodo de estudio y las variables registradas de temperatura media, máxima, mínima y humedad relativa, se agrupó a las estaciones del año en primavera-verano y otoño-invierno.

Para los análisis de ANOVA se empleó módulo de modelos lineales generales y mixtos (MLGM) del software estadístico INFOSTAT® (v. 2022) en enlace con la plataforma R: DCOM. Para los análisis de regresión lineal simple y coeficiente de correlación de Spearman se empleó el mismo software. Todas las diferencias se consideraron como significativas cuando  $0.01 < p \leq 0.05$  y altamente significativas cuando  $p < 0.01$ . Todos los resultados se expresan como medias con sus respectivos errores estándar (EE) o desviaciones estándar (DS) según corresponda el caso.

CAPÍTULO IV  
RESULTADOS

En este capítulo se enumeran, en primer término, los resultados de los análisis estadísticos para las variables de número de lechones nacidos vivos, número de lechones nacidos muertos, número de lechones nacidos momificados, número de lechones totales, peso al nacimiento, número de lechones destetados, peso al destete, tasa de supervivencia pre-destete, ganancia diaria promedio de peso, variación de peso parto-destete, consumo diario promedio de alimento, consumo diario promedio de energía e intervalo destete-celo. Luego, se detallan los resultados obtenidos de las variables medioambientales (temperaturas medias, máximas y mínimas y humedad relativa) registradas en cada estación del año y en el sistema a campo e intensivo. A continuación, se presentan los coeficientes de correlación de Spearman de las estaciones del año y las variables estudiadas en ambos sistemas. Por último, se detallan los resultados del efecto de la suplementación con grasa sobre los niveles séricos de glucosa, insulina, hormona luteinizante y ácidos grasos no esterificados.

#### **4.1. Número de lechones nacidos vivos**

El número de LNV fue significativamente mayor a medida que se incrementaban el número de partos de las hembras ( $p \leq 0.05$ ) para una misma dieta y en ambos sistemas (Tabla 4). Al compararse el número de LNV entre dietas experimentales, se observó que las cerdas que consumieron las dietas con un 7% de inclusión de grasa, obtuvieron los valores más altos en sus partos número 3 y 4 ( $p \leq 0.05$ ) tanto en el sistema a campo como el intensivo. Al comparar las medias de LNV entre dietas considerando todos los partos, se observa una diferencia de +1.1 LNV a favor de las cerdas que consumieron la dieta D2 con respecto a aquellas hembras que consumieron la dieta control en ambos sistemas ( $p \leq 0.05$ ).

#### **4.2. Número de lechones nacidos muertos y momificados**

La Tabla 5 muestra el efecto de las dietas y la parición sobre el número de LNMo y LNMu para cada sistema. El número de lechones nacidos momificados registró su valor máximo durante el primer parto ( $p \leq 0.05$ ), para luego disminuir durante el 2° y 3° parto hasta llegar a ser nulo en el 4° parto ( $p \leq 0.05$ ) tanto en el sistema intensivo como en el sistema a campo y para todas las dietas empleadas. En lo que respecta al número de lechones nacidos muertos, se observa una situación similar, en donde las hembras de primer parto obtuvieron los valores más elevados ( $p \leq 0.05$ ) sin diferencias entre sistemas o dietas.

**Tabla 4.** Efecto de las dietas experimentales y el número de partos sobre el número de lechones nacidos vivos para ambos sistemas.

Variable	Sistema	Dietas	N° de partos				$\bar{x}$ dietas	EE
			1	2	3	4		
LNV	SI	D0	9.00 <sup>A</sup>	11.20 <sup>B</sup>	11.75 <sup>C,X</sup>	11.80 <sup>D,X</sup>	10.94 <sup>X</sup>	0.49
		D1	9.20 <sup>A</sup>	11.20 <sup>B</sup>	12.20 <sup>C,X</sup>	12.80 <sup>D,Y</sup>	11.35 <sup>X</sup>	0.45
		D2	9.10 <sup>A</sup>	11.40 <sup>B</sup>	<b>13.75<sup>C,Y</sup></b>	<b>13.80<sup>C,Y</sup></b>	<b>12.04<sup>Y</sup></b>	0.51
	SC	D0	8.90 <sup>A</sup>	11.15 <sup>B</sup>	11.80 <sup>C,X</sup>	11.79 <sup>D,X</sup>	10.91 <sup>X</sup>	0.50
		D1	9.10 <sup>A</sup>	11.18 <sup>B</sup>	12.19 <sup>C,X</sup>	12.76 <sup>D,Y</sup>	11.30 <sup>X</sup>	0.39
		D2	9.15 <sup>A</sup>	11.34 <sup>B</sup>	<b>13.70<sup>C,Y</sup></b>	<b>13.91<sup>D,Y</sup></b>	<b>12.02<sup>Y</sup></b>	0.70

<sup>A, B, C, D</sup>: en la misma fila, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre partos para un mismo sistema. <sup>X, Y</sup>: en la misma columna, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre dietas y sistemas para un mismo número de parto. EE: Error estándar. LNV: lechones nacidos vivos; D0: dieta control; D1: dieta con 3.5% de inclusión de grasa; D2: dieta con 7% de inclusión de grasa; SI: sistema intensivo; SC: sistema a campo.

**Tabla 5.** Efecto de las dietas experimentales y el número de partos sobre el número de lechones nacidos momificados y muertos para ambos sistemas.

Variables	Sistema	Dietas	N° de partos				$\bar{x}$ dietas	EE
			1	2	3	4		
LNMo	SI	D0	2.10 <sup>A</sup>	1.10 <sup>B</sup>	1.00 <sup>B</sup>	0.00 <sup>C</sup>	1.07	0.09
		D1	2.10 <sup>A</sup>	1.20 <sup>B</sup>	1.00 <sup>B</sup>	0.00 <sup>C</sup>	1.07	0.12
		D2	2.00 <sup>A</sup>	1.10 <sup>B</sup>	1.00 <sup>B</sup>	0.00 <sup>C</sup>	1.02	0.08
	SC	D0	2.00 <sup>A</sup>	1.00 <sup>B</sup>	1.10 <sup>B</sup>	0.00 <sup>C</sup>	1.02	0.07
		D1	2.10 <sup>A</sup>	1.23 <sup>B</sup>	1.11 <sup>B</sup>	0.00 <sup>C</sup>	1.11	0.15
		D2	2.20 <sup>A</sup>	1.15 <sup>B</sup>	1.00 <sup>B</sup>	0.00 <sup>C</sup>	1.08	0.09
LNMu	SI	D0	2.00 <sup>A</sup>	1.10 <sup>B</sup>	1.20 <sup>B</sup>	1.20 <sup>B</sup>	1.37	0.10
		D1	2.30 <sup>A</sup>	1.30 <sup>B</sup>	1.30 <sup>B</sup>	1.19 <sup>B</sup>	1.52	0.11
		D2	2.40 <sup>A</sup>	1.30 <sup>B</sup>	1.10 <sup>B</sup>	1.20 <sup>B</sup>	1.50	0.11
	SC	D0	2.01 <sup>A</sup>	1.09 <sup>B</sup>	1.21 <sup>B</sup>	1.18 <sup>B</sup>	1.37	0.18
		D1	2.25 <sup>A</sup>	1.30 <sup>B</sup>	1.31 <sup>B</sup>	1.21 <sup>B</sup>	1.51	0.20
		D2	2.42 <sup>A</sup>	1.2 <sup>B</sup>	1.10 <sup>B</sup>	1.22 <sup>B</sup>	1.50	0.16

<sup>A, B, C, D</sup>: en la misma fila, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre partos para un mismo sistema. <sup>X, Y</sup>: en la misma columna, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre dietas y sistemas para un mismo número de parto. EE: Error estándar. LNMo: lechones nacidos momificados; LNMu: lechones nacidos momificados; D0: dieta control; D1: dieta con 3.5% de inclusión de grasa; D2: dieta con 7% de inclusión de grasa; SI: sistema intensivo; SC: sistema a campo.

### 4.3. Número de lechones nacidos totales

Se observó que las hembras de 1° y 2° parto registraron los valores más bajos en esta variable ( $p \leq 0.05$ ) dentro de cada dieta y para cada sistema estudiado (Tabla 6). Sin embargo, las hembras que consumieron la dieta D2 registraron los valores más elevados de LNT en los partos 3° y 4° ( $p \leq 0.05$ ) en ambos sistemas. En promedio, las hembras que consumieron la D2 tuvieron +1.18 LNT en comparación con las hembras que consumieron la D0 ( $p \leq 0.05$ ) en el sistema intensivo, mientras que en el sistema a campo las hembras que consumieron la dieta con un 7% de inclusión de grasa registraron +1.3 LNT que sus pares de la dieta control ( $p \leq 0.05$ ).

**Tabla 6.** Efecto de las dietas experimentales y el número de partos sobre el número de lechones nacidos totales para ambos sistemas.

Variable	Sistema	Dietas	N° de partos				$\bar{x}$ dietas	EE
			1	2	3	4		
LNT	SI	D0	13.10 <sup>A</sup>	13.40 <sup>A</sup>	13.95 <sup>B,X</sup>	13.00 <sup>B,X</sup>	13.36 <sup>X</sup>	0.50
		D1	13.60 <sup>A</sup>	13.70 <sup>A</sup>	14.50 <sup>B,X</sup>	14.00 <sup>B,Y</sup>	13.95 <sup>X</sup>	0.40
		D2	13.50 <sup>A</sup>	13.80 <sup>A</sup>	<b>15.85<sup>C,Y</sup></b>	<b>15.00<sup>C,Z</sup></b>	14.54 <sup>Y</sup>	0.45
	SC	D0	12.91 <sup>A</sup>	13.24 <sup>A</sup>	14.11 <sup>B,X</sup>	12.97 <sup>B,X</sup>	13.30 <sup>X</sup>	0.44
		D1	13.45 <sup>A</sup>	13.71 <sup>A</sup>	14.61 <sup>B,X</sup>	13.97 <sup>B,Y</sup>	13.92 <sup>X</sup>	0.35
		D2	13.77 <sup>A</sup>	13.69 <sup>A</sup>	<b>15.80<sup>C,Y</sup></b>	<b>15.13<sup>C,Z</sup></b>	14.60 <sup>Z</sup>	0.61

<sup>A, B, C, D</sup>: en la misma fila, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre partos para un mismo sistema. <sup>X, Y</sup>: en la misma columna, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre dietas y sistemas para un mismo número de parto. EE: Error estándar. LNT: lechones nacidos totales; D0: dieta control; D1: dieta con 3.5% de inclusión de grasa; D2: dieta con 7% de inclusión de grasa; SI: sistema intensivo; SC: sistema a campo.

### 4.4. Peso al nacimiento

El peso de los lechones al nacimiento fue similar en todas las pariciones para las hembras que consumieron las dietas D0 y D1, pero significativamente mayores en el 3° y 4° parto para las hembras que consumieron la dieta D2 ( $p \leq 0.05$ ; Tabla 7) en ambos sistemas. En promedio las hembras que consumieron la dieta D2 registraron lechones con un peso al nacimiento 0.117 kg por encima de lechones provenientes de cerdas que consumieron la dieta control ( $p \leq 0.05$ ) en el sistema intensivo. En el sistema a campo, las hembras que consumieron la dieta con una inclusión de 7% de grasa tuvieron lechones con un peso al nacimiento 0.120 kg superior en comparación con aquellos nacidos de madres que consumieron la dieta control ( $p \leq 0.05$ ).

**Tabla 7.** Efecto de las dietas experimentales y el número de partos sobre el peso al nacimiento de lechones para ambos sistemas.

Variable	Sistema	Dietas	N° de partos				$\bar{x}$ dietas	EE
			1	2	3	4		
PN (Kg)	SI	D0	0.91	0.93	1.02 <sup>X</sup>	1.01 <sup>X</sup>	0.968 <sup>X</sup>	0.078
		D1	1.03	1.02	1.05 <sup>X</sup>	1.09 <sup>X</sup>	1.048 <sup>X,Y</sup>	0.055
		D2	1.04 <sup>A</sup>	1.05 <sup>A</sup>	<b>1.13<sup>B,Y</sup></b>	<b>1.12<sup>B,Y</sup></b>	1.085 <sup>Y</sup>	0.060
	SC	D0	0.90	0.92	1.03 <sup>X</sup>	1.01 <sup>X</sup>	0.965 <sup>X</sup>	0.040
		D1	1.02	1.02	1.05 <sup>X</sup>	1.10 <sup>X</sup>	1.047 <sup>X,Y</sup>	0.057
		D2	1.05 <sup>A</sup>	1.06 <sup>A</sup>	<b>1.12<sup>B,Y</sup></b>	<b>1.11<sup>B,Y</sup></b>	1.085 <sup>Y</sup>	0.040

<sup>A, B, C, D</sup>: en la misma fila, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre partos para un mismo sistema. <sup>X, Y</sup>: en la misma columna, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre dietas y sistemas para un mismo número de parto. EE: Error estándar. PN: peso al nacimiento; D0: dieta control; D1: dieta con 3.5% de inclusión de grasa; D2: dieta con 7% de inclusión de grasa; SI: sistema intensivo; SC: sistema a campo.

#### 4.5. Número y peso de lechones al destete

No se observó un efecto significativo de las dietas para el LD dentro del sistema intensivo ( $p > 0.05$ ; Tabla 8). Sin embargo, en el sistema a campo, el LD fue significativamente superior en aquellas hembras que consumieron la D2 ( $p \leq 0.05$ ). En promedio, las hembras que consumieron la D2 destetaron 1.05 lechones más que aquellas que solo consumieron la D0. Los lechones provenientes de cerdas que consumieron la D2, mostraron un mayor PD en ambos sistemas ( $p \leq 0.05$ ) llegando a pesar en promedio 0.970 kg por encima de aquellos lechones cuyas madres solo consumieron la dieta control.

**Tabla 8.** Efecto de las dietas experimentales y el sistema sobre el número y peso de lechones al destete.

Variables	Dietas	Sistemas		Media dietas	EE
		SI	SC		
LD	D0	12.30	12.10 <sup>X</sup>	12.20 <sup>X</sup>	0.150
	D1	12.50 <sup>A</sup>	12.20 <sup>B,X</sup>	12.35 <sup>X</sup>	0.162
	D2	12.70 <sup>A</sup>	<b>13.80<sup>B,Y</sup></b>	<b>13.25<sup>Y</sup></b>	0.155
PD (Kg)	D0	4.96 <sup>X</sup>	4.91 <sup>X</sup>	4.93 <sup>X</sup>	0.111
	D1	5.20 <sup>X</sup>	5.10 <sup>X</sup>	5.15 <sup>XY</sup>	0.115
	D2	5.82 <sup>A,Y</sup>	<b>5.98<sup>B,Y</sup></b>	<b>5.90<sup>Y</sup></b>	0.110

<sup>A, B</sup>: en la misma fila, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre sistemas. <sup>X, Y</sup>: en la misma columna, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre dietas. EE: Error estándar. LD: lechones destetados; PD: peso al destete; D0: dieta control; D1: dieta con 3.5% de inclusión de grasa; D2: dieta con 7% de inclusión de grasa; SI: sistema intensivo; SC: sistema a campo.

#### 4.6. Tasa de supervivencia pre-destete

No se observó un efecto significativo de las dietas sobre el porcentaje de supervivencia pre-destete en el sistema intensivo ( $p > 0.05$ ; Tabla 9). Sin embargo, en el sistema a campo, la supervivencia hasta el destete fue superior en aquellos lechones provenientes de hembras que consumieron la D2 ( $p \leq 0.05$ ), alcanzando los 10.1 puntos porcentuales por encima de sus pares de la dieta control. En promedio, la tasa de supervivencia pre-destete fue 6.4 puntos porcentuales superior con la D2 ( $p \leq 0.05$ ).

**Tabla 9.** Efecto de las dietas experimentales y el sistema sobre la tasa de supervivencia pre-destete.

Variable	Dietas	Sistemas		Media dietas	EE
		SI	SC		
%SPP	D0	83.10 <sup>A,X</sup>	79.00 <sup>B,X</sup>	81.05 <sup>X</sup>	1.220
	D1	85.60 <sup>A,X</sup>	80.10 <sup>B,X</sup>	82.85 <sup>X</sup>	1.115
	D2	85.80 <sup>A,X</sup>	<b>89.10<sup>B,Y</sup></b>	<b>87.45<sup>Y</sup></b>	1.200

<sup>A, B</sup>: en la misma fila, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre sistemas. <sup>X, Y</sup>: en la misma columna, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre dietas. EE: Error estándar. %SPP: tasa de supervivencia pre-destete; D0: dieta control; D1: dieta con 3.5% de inclusión de grasa; D2: dieta con 7% de inclusión de grasa; SI: sistema intensivo; SC: sistema a campo.

#### 4.7. Ganancia diaria de peso vivo

En cuanto a la ganancia diaria de peso promedio de los lechones, se registró un efecto significativo de la dieta en ambos sistemas ( $p \leq 0.05$ ; Tabla 10). Aquellos lechones provenientes de hembras que consumieron la dieta con una inclusión de 7% de grasa, tuvieron una GDPV significativamente mayor a sus pares que consumieron la D0 y D1 ( $p \leq 0.05$ ). Dicha diferencia, alcanzo a ser de +0.48 kg/día en promedio, a favor de los animales del grupo de la D2 ( $p \leq 0.05$ ).

**Tabla 10.** Efecto de las dietas experimentales y el sistema sobre la ganancia media diaria de lechones.

Variable	Dietas	Sistemas		Media dietas	EE
		SI	SC		
GDPV (kg/día)	D0	0.180 <sup>X</sup>	0.173 <sup>X</sup>	0.177 <sup>X</sup>	0.050
	D1	0.191 <sup>X</sup>	0.175 <sup>X</sup>	0.183 <sup>X</sup>	0.065
	D2	0.220 <sup>A,Y</sup>	<b>0.230<sup>B,Y</sup></b>	<b>0.225<sup>Y</sup></b>	0.071

<sup>A, B</sup>: en la misma fila, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre sistemas. <sup>X, Y</sup>: en la misma columna, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre dietas. EE: Error estándar. GDPV: ganancia diaria promedio de peso; D0: dieta control; D1: dieta con 3.5% de inclusión de grasa; D2: dieta con 7% de inclusión de grasa; SI: sistema intensivo; SC: sistema a campo.



#### 4.8. Variación de peso parto-destete

Dentro del sistema intensivo, no se observó un efecto significativo de las dietas sobre la variación de peso ( $p > 0.05$ ; Tabla 11). En contraste con esto, en el sistema a campo, las dietas tuvieron un efecto significativo, siendo menor la pérdida de peso en aquellas hembras que consumieron la D2 ( $p \leq 0.05$ ). Considerando solo el SC, se observa que las hembras de la D2 perdieron, en promedio 8.6 kilogramos menos de peso durante la lactancia en comparación con las hembras que consumieron la dieta control ( $p \leq 0.05$ ). Ahora, si consideramos el efecto de las dietas en ambos sistemas, la inclusión de grasa disminuyó sistemáticamente la pérdida de peso durante la lactancia ( $p \leq 0.05$ ).

**Tabla 11.** Efecto de las dietas experimentales y el sistema sobre variación de peso parto-destete.

Variable	Dietas	Sistemas		Media dietas	EE
		SI	SC		
$\Delta$ BW (kg)	D0	-27.20	-30.0 <sup>X</sup>	-28.60 <sup>X</sup>	0.220
	D1	-26.60	-25.9 <sup>Y</sup>	-26.25 <sup>Y</sup>	0.215
	D2	-27.80 <sup>A</sup>	-21.4 <sup>B,Z</sup>	-24.60 <sup>Z</sup>	0.216

<sup>A, B</sup>: en la misma fila, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre sistemas. <sup>X, Y</sup>: en la misma columna, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre dietas. EE: Error estándar.  $\Delta$ BW: variación de peso parto-destete; D0: dieta control; D1: dieta con 3.5% de inclusión de grasa; D2: dieta con 7% de inclusión de grasa; SI: sistema intensivo; SC: sistema a campo.

#### 4.9. Consumo diario de alimento y energía

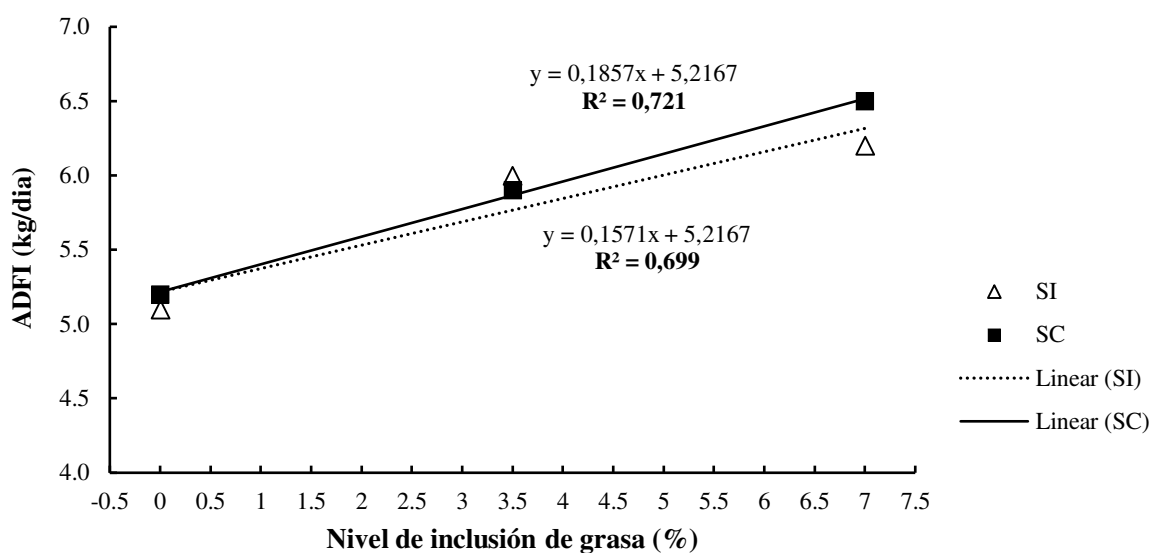
El consumo diario de alimento durante la lactancia se incrementó de manera significativa por la inclusión de grasa en ambos sistemas ( $p \leq 0.05$ ; Tabla 12). En promedio, las dietas con 3.5 y 7% de inclusión de grasa mejoraron en 0.8 y 1.2 kg/día la cantidad de alimento consumido, respectivamente ( $p \leq 0.05$ ). Similar comportamiento tuvo la variable de consumo diario de energía, en donde las hembras aumentaron sistemáticamente su ADEI con la inclusión de grasa en ambos sistemas ( $p \leq 0.05$ ).

Una respuesta lineal se observó para el ADFI y ADEI. Por cada incremento porcentual de inclusión de grasa en la dieta, el consumo de alimento en lactancia mejoró 0.157 y 0.187 kg/día en el sistema intensivo ( $R^2 = 0.69$ ) y a campo ( $R^2 = 0.72$ ) respectivamente (Figura 14). En cuanto al consumo diario de energía, esta aumentó en 0.692 Mcal/día en el sistema intensivo ( $R^2 = 0.70$ ) y 0.591 Mcal/día en el sistema a campo ( $R^2 = 0.68$ ) (Figura 15).

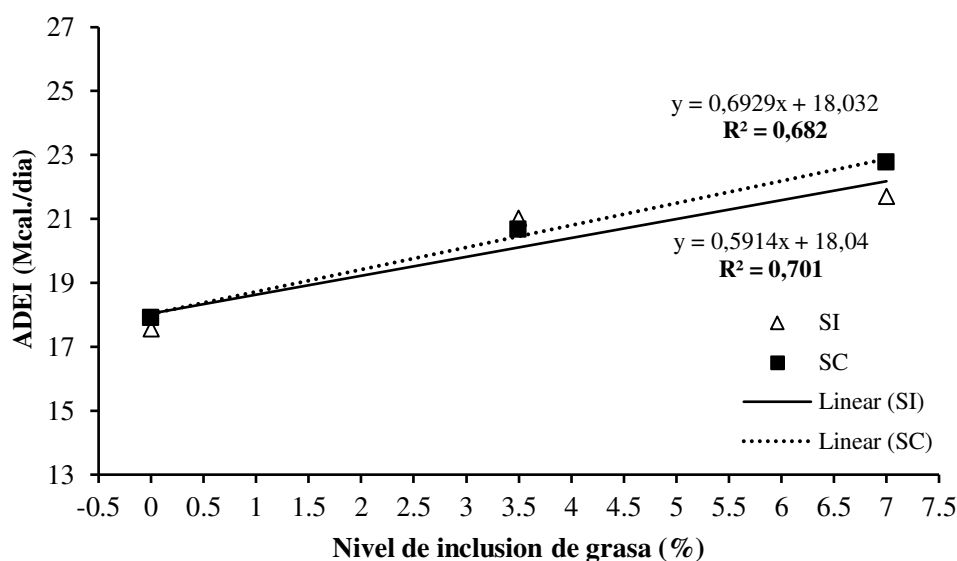
**Tabla 12.** Efecto de las dietas experimentales y el tipo de sistema sobre el consumo promedio diario de alimento y de energía.

Variables	Dietas	Sistemas		Media dietas	EE
		SI	SC		
ADFI (kg)	D0	5.10 <sup>X</sup>	5.20 <sup>X</sup>	5.15 <sup>X</sup>	0.100
	D1	6.00 <sup>Y</sup>	5.90 <sup>Y</sup>	5.95 <sup>Y</sup>	0.112
	D2	6.20 <sup>Z</sup>	6.50 <sup>Z</sup>	6.35 <sup>Z</sup>	0.115
ADEI (Mcal/día)	D0	17.58 <sup>X</sup>	17.92 <sup>X</sup>	14.99 <sup>X</sup>	0.752
	D1	21.03 <sup>Y</sup>	20.68 <sup>Y</sup>	20.85 <sup>Y</sup>	0.689
	D2	21.72 <sup>A,Z</sup>	22.77 <sup>B,Y</sup>	21.89 <sup>Z</sup>	0.721

<sup>A, B</sup>: en la misma fila, medias con distintos superíndices difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre sistemas. <sup>X, Y, Z</sup>: en la misma columna, medias con distintos superíndices difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre dietas. EE: Error estándar. ADFI: consumo promedio diario de alimento; ADEI: consumo promedio diario de energía; D0: dieta control; D1: dieta con 3.5% de inclusión de grasa; D2: dieta con 7% de inclusión de grasa; SI: sistema intensivo; SC: sistema a campo.



**Figura 14.** Consumo promedio diario de alimento (ADFI; kg/día) de cerdas durante la lactancia de dietas que contienen 0, 3.5 y 7% de inclusión de grasa en dos sistemas de producción (a campo e intensivo).



**Figura 15.** Consumo promedio diario de energía (ADEI; Mcal/día) de cerdas durante la lactancia de dietas que contienen 0, 3.5 y 7% de inclusión de grasa en dos sistemas de producción (a campo e intensivo).

#### 4.10. Intervalo destete-celo

La inclusión de grasa mejoró significativamente el IDC en ambos sistemas ( $p \leq 0.05$ ; Tabla 13). En el sistema a campo, aquellas cerdas que consumieron la D2 tuvieron un IDC de 1.24 días más corto que sus pares que consumieron la dieta control ( $p \leq 0.05$ ). Considerando ambos sistemas, las dieta D2 acertó en 1.05 días el retorno al celo de las cerdas ( $p \leq 0.05$ ).

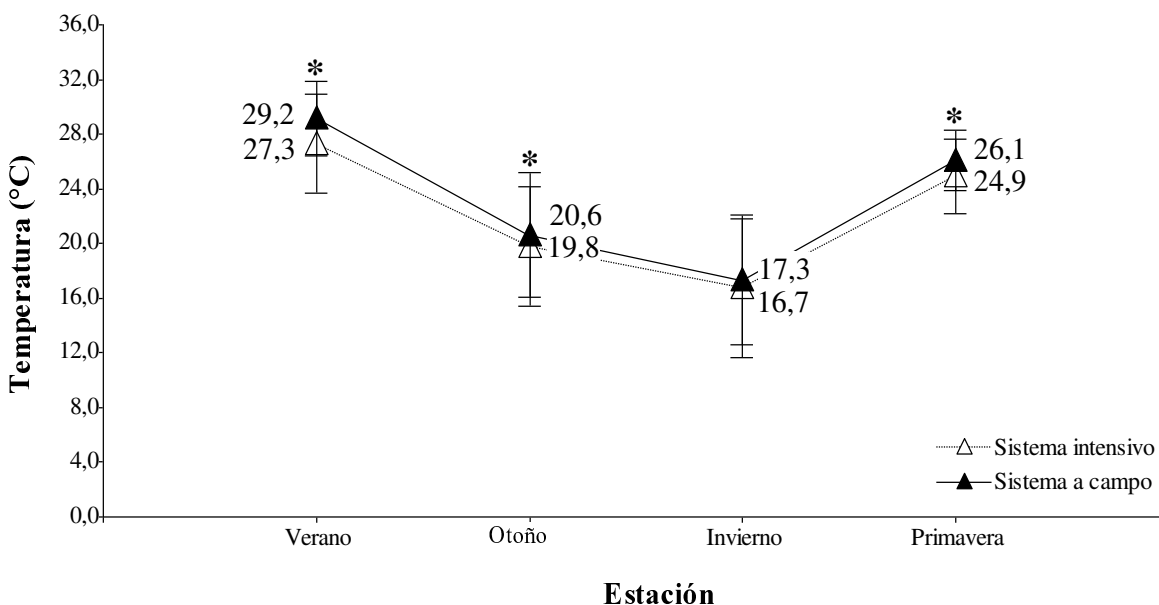
**Tabla 13.** Efecto de las dietas experimentales y el sistema sobre el intervalo destete-celo.

Variable	Dietas	Sistemas		Media dietas	EE
		SI	SC		
IDC (días)	D0	5.80 <sup>A,X</sup>	6.60 <sup>B,X</sup>	6.20 <sup>X</sup>	0.150
	D1	5.77 <sup>X</sup>	5.69 <sup>X</sup>	5.73 <sup>X</sup>	0.100
	D2	5.10 <sup>Y</sup>	5.20 <sup>Y</sup>	5.15 <sup>Y</sup>	0.113

<sup>A, B</sup>: en la misma fila, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre sistemas. <sup>X</sup>: en la misma columna, medias con distinto superíndice difieren significativamente ( $p \leq 0.05$ ) entre dietas. EE: Error estándar. IDC: intervalo destete-celo; D0: dieta control; D1: dieta con 3.5% de inclusión de grasa; D2: dieta con 7% de inclusión de grasa; SI: sistema intensivo; SC: sistema a campo.

#### 4.11. Variables medioambientales

Mediante el uso de termohigrómetros digitales se registró la temperatura y humedad relativa en ambos sistemas durante todo el experimento. Dicho período fue dividido acorde a las estaciones del año para su análisis posterior sobre las variables productivas y reproductivas.

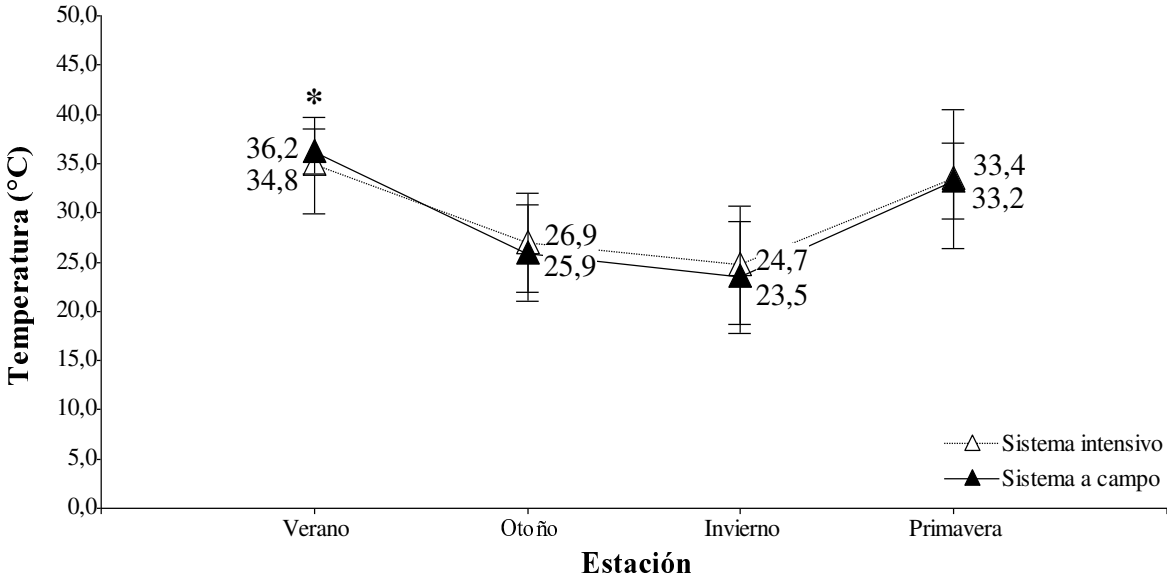


**Figura 16.** Temperatura media para cada estación del año y cada sistema: sistema intensivo (SI) y sistema a campo (SC). Los resultados se expresan como la media  $\pm$  DS. La presencia de superíndices indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para la misma estación del año en cada sistema.

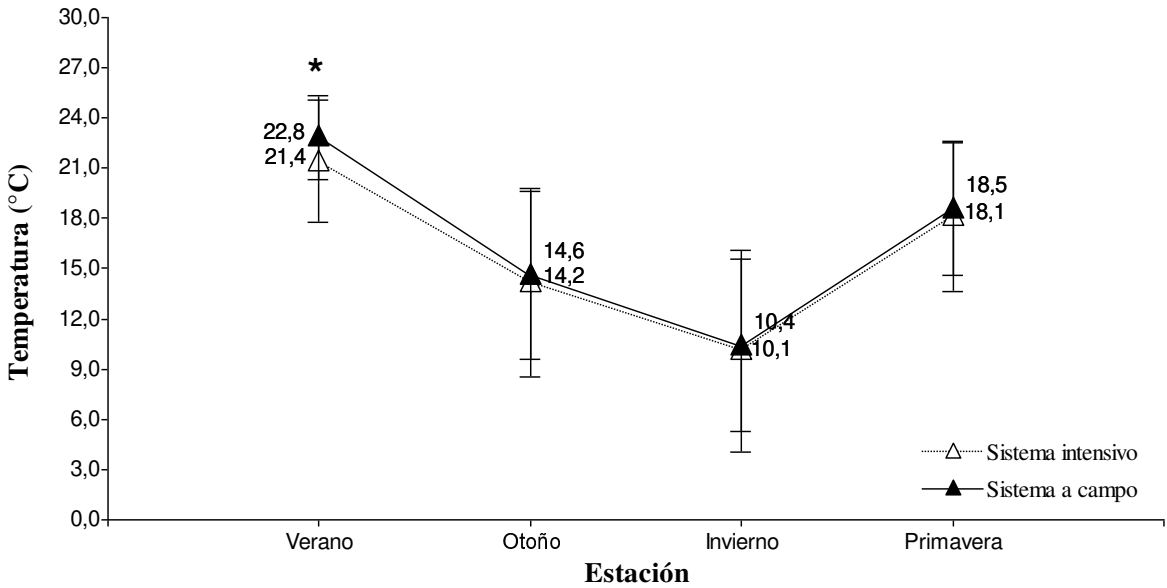
En la Figura 16 se puede observar los valores de temperatura media por estación del año y sistema. La temperatura media durante los meses de otoño, primavera y verano fue significativamente superior en el sistema a campo ( $p \leq 0.05$ ) con respecto a las mismas estaciones en el sistema intensivo.

En lo que respecta a las temperaturas máximas, se observa una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre el sistema a campo y el sistema intensivo, siendo en el primero donde se registran, en promedio, temperaturas máximas más altas durante los meses de verano (Figura 17). En la Figura 18 se puede observar como las temperaturas mínimas registradas en el sistema a campo durante los meses de verano fueron significativamente superiores a los valores registrados en el sistema intensivo ( $p \leq 0.05$ ).

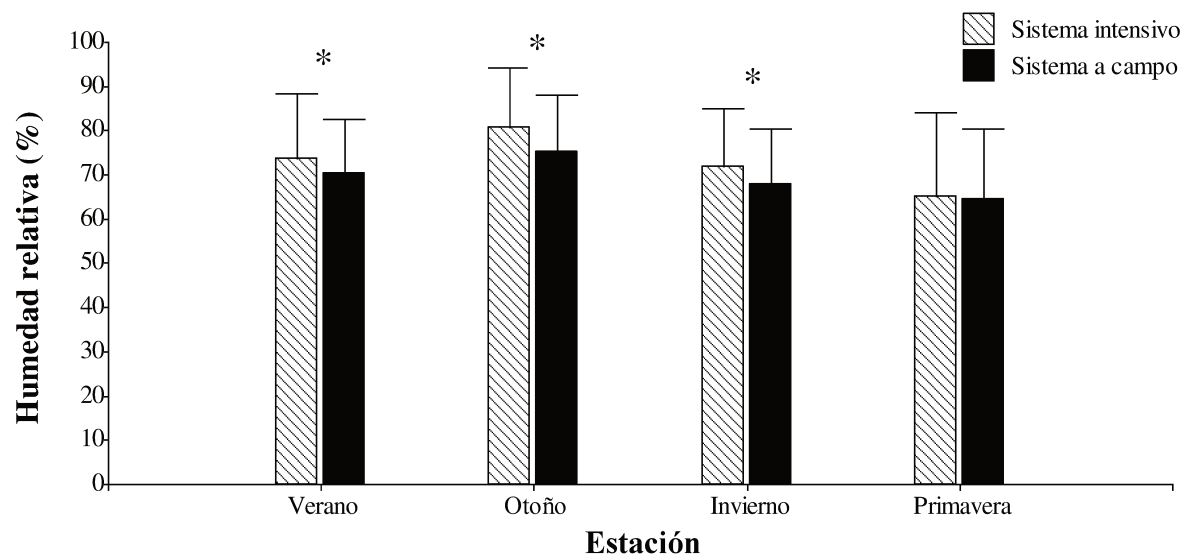
En la Figura 19 se muestran los valores de humedad relativa para cada sistema y estación del año. Durante el otoño y en el sistema intensivo se registraron los valores más altos de HR ( $p \leq 0.05$ ). Esta situación se repitió para los meses de verano e invierno en donde, en el sistema intensivo, se observaron sistemáticamente porcentajes más elevados de HR, pero no llegando a ser significativos durante los meses de primavera ( $p > 0.05$ ).



**Figura 17.** Temperatura máxima para cada estación del año y cada sistema: sistema intensivo (SI) y sistema a campo (SC). Los resultados se expresan como la media  $\pm$  DS. La presencia de superíndices indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para la misma estación del año en cada sistema.



**Figura 18.** Temperatura mínima para cada estación del año y cada sistema: sistema intensivo (SI) y sistema a campo (SC). Los resultados se expresan como la media  $\pm$  DS. La presencia de superíndices indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para la misma estación del año en cada sistema.



**Figura 19.** Humedad relativa para cada estación del año y cada sistema: sistema intensivo (SI) y sistema a campo (SC). Los resultados se expresan como la media  $\pm$  DS. La presencia de superíndices indica diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para la misma estación del año en cada sistema.

#### 4.12. Estacionalidad

La Tabla 14 muestra las correlaciones de las variables estudiadas y las estaciones del año. Estas últimas se agruparon según sus características similares de temperaturas (medias, máximas y mínimas) en dos grupos: primavera-verano (PRI-VER) y otoño-invierno (OTO-INV). Solo se presentan aquellas variables cuyo coeficiente de correlación de Spearman ( $\rho$ ) fue significativo ( $p \leq 0.05$ ) para al menos un grupo de estaciones del año.

Todas las variables consideradas se asociaron fuertemente ( $\rho > 0.6$ ) y de manera negativa con las estaciones de primavera y verano ( $p \leq 0.05$ ). Cuando mayor era la temperatura ambiente el rendimiento en las variables consideradas fue menor. Caso contrario, las estaciones de invierno y otoño se correlacionaron positivamente con la ganancia diaria promedio de peso ( $p > 0.05$ ), el intervalo destete-celo ( $p > 0.05$ ), el consumo diario promedio de alimento ( $p > 0.05$ ) y el consumo diario promedio de energía ( $p > 0.05$ ).

En estas dos últimas variables la asociación fue muy fuerte ( $\rho > 0.7$ ) para ambos grupos de estaciones. El IDC y la GDPV, si bien mostraron una correlación significativa con las estaciones de invierno y otoño ( $p \leq 0.05$ ) esta es moderada ( $\rho < 0.6$ ). En tanto que la %SPP, el PD y la  $\Delta BW$  no mostraron una correlación significativa con las estaciones de invierno y otoño ( $p > 0.05$ ).

**Tabla 14.** Correlaciones entre las variables estudiadas y las estaciones del año.

Estaciones del año	Parámetros						
	PD	GDPV	%SPP	$\Delta$ BW	ADFI	ADEI	IDC
PRI - VER	-0.61	-0.71	-0.75	-0.62	-0.80	-0.73	-0.66
INV - OTO	ns	0.51	ns	ns	0.75	0.72	0.57

ns: sin diferencia significativa ( $p > 0.05$ ). PD: peso al destete; GDPV: ganancia promedio de peso; %SPP: tasa de supervivencia pre-destete;  $\Delta$ BW: variación de peso; ADFI: consumo diario promedio de alimento; ADEI: consumo diario promedio de alimento; IDC: intervalo destete-celo; PRI-VER: primavera-verano; INV-OTO: invierno-otoño.

#### 4.13. Variables hormonales y metabolitos

No se detectaron diferencias significativas de las dietas sobre los niveles de insulina en suero tanto pre- como post-prandial ( $p > 0.05$ ; Tabla 15). Similar comportamiento se observó para la glucosa, en donde las diferentes dietas no tuvieron un efecto significativo sobre este metabolito ( $p > 0.05$ ).

Sin embargo, cuando se analizan los niveles de LH y NEFA, se observa un efecto significativo ( $p \leq 0.05$ ) de las dietas sobre estas variables. Para el caso de la LH, las hembras que consumieron la D2 tuvieron un mayor nivel en suero de esta hormona ( $p = 0.043$ ). Mientras que, para los ácidos grasos no esterificados, se observó que la inclusión de grasa disminuyó el nivel de estos compuestos a medida que el nivel de grasa se incrementaba ( $p = 0.032$ ).

**Tabla 15.** Efecto de las dietas experimentales sobre los niveles séricos de glucosa, insulina, LH y NEFA.

Parámetro	Período*	Dietas			EE	p - valor
		D0	D1	D2		
Insulina (uU/ml)	pre-prandial (-15min)	0.96	0.89	1.04	0.22	ns
	post-prandial (+60min)	1.15	1.02	1.20	0.15	ns
Glucosa (g/l)	pre-prandial (-15min)	0.45	0.34	0.40	0,09	ns
	post-prandial (+60min)	0.50	0.39	0.41	0,08	ns
LH (mU/ml)	-	0.32 <sup>A</sup>	0.33 <sup>A</sup>	0.45 <sup>B</sup>	0.06	0.043
NEFA (mmol/l)	-	0.35 <sup>A</sup>	0.21 <sup>B</sup>	0.10 <sup>C</sup>	0.02	0.032

ns: sin diferencia significativa ( $p > 0.05$ ). EE: error estándar. \*: relativo a la primera comida de la mañana.

CAPÍTULO V  
DISCUSIÓN



Los avances en diferentes aspectos productivos, pero principalmente en genética, han dado lugar a una cerda moderna prolífica y de alta producción. Para camadas más grandes y de crecimiento rápido, la demanda de producción de leche y nutrientes ha aumentado sustancialmente. El desarrollo de la cerda moderna también ha dado como resultado un animal con menos reservas de grasa corporal y menor apetito (Rodríguez et al., 2023). Por lo tanto, los programas de alimentación deben garantizar un óptimo consumo de nutrientes y energía para mantener el alto nivel de producción de leche, pero al mismo tiempo evitar que la cerda pierda peso corporal maximizando su productividad a largo plazo. La ingesta óptima de nutrientes por parte de la cerda en lactación es más difícil de lograr en ciertas condiciones ambientales. La exposición de las cerdas a una temperatura ambiente elevada provoca cambios fisiológicos y metabólicos que deterioran la función de la barrera intestinal, aumentan el estrés oxidativo y reducen drásticamente la ingesta de nutrientes, lo que lleva a la movilización de las reservas corporales para cubrir la deficiencia de nutrientes (Quiniou et al., 1999).

Para garantizar que las cerdas y los lechones consuman suficiente energía, la adición de grasa a las dietas de las cerdas es un enfoque potencial que ha mostrado a lo largo de diversos estudios sus beneficios productivos y reproductivos (Pettigrew, 1981; Rosero et al., 2016; Jin et al., 2017; Peng et al., 2019). En el presente trabajo, la inclusión de grasa en dietas de gestación tardía (>90 días) y lactancia, logró mejorar el consumo de alimento de las hembras, sus índices productivos, reproductivos y el rendimiento de los lechones, aun cuando las temperaturas medias excedieron notablemente su temperatura confort. También, se evaluó su posible vínculo con determinadas hormonas mediadoras entre nutrición y reproducción, encontrando que cerdas que consumieron 7% de grasa tenían un nivel menor de NEFA y mayor nivel de LH en suero sanguíneo.

### **5.1. Efecto de la inclusión de grasa sobre la ingesta calórico y de alimento de la cerda**

Desde una perspectiva nutricional, la grasa es una fuente altamente concentrada de energía que tiene una menor producción de calor asociado a su digestión y metabolismo comparada con los carbohidratos, la fibra o la proteína (Rosero et al., 2012a). Consecuentemente, los estudios han mostrado un mejor rendimiento de los animales cuando la grasa es añadida, especialmente en condiciones de altas temperaturas (Pettigrew, 1991; Cho and Kim, 2012).

Sin embargo, a lo largo de toda la literatura revisada, solo cinco trabajos (Schoenherr et al., 1989; Christon et al., 1999; Christon et al., 2005; Rosero et al., 2012a, 2012b) afirmaron ser llevados a cabo en “condiciones tropicales” y detallaron explícitamente la temperatura ambiental en la sección de materiales y métodos. Esto puede deberse a las dificultades técnicas que implica recrear con suficiente precisión las condiciones de estrés calórico a las que están sometidos los animales en granjas comerciales a lo largo de un periodo considerable de tiempo y con las variaciones de temperatura que se experimentan a lo largo del año.

En este trabajo se emplearon dos sistemas de producción: a campo e intensivo, en los cuales se registró diariamente la temperatura y la humedad relativa del ambiente. Dado que el trabajo tuvo una duración de 18 meses, pudo caracterizarse con alto nivel de detalle las condiciones de temperatura y humedad a las que los animales estuvieron expuestos en ambos sistemas y en cada estación del año. En este sentido, esperábamos que el registro de temperatura media fuera mayor en el sistema a campo únicamente durante los meses de primavera y verano. Sin embargo, durante el otoño, también se registraron temperaturas mayores en el SC que en el SI. Si bien la temperatura media durante el otoño fue de 17°C, las temperaturas máximas estuvieron, en promedio, 6°C por encima de dicho valor. Solo durante el invierno la temperatura media estuvo por debajo de la temperatura confort establecida para una cerda reproductora (17 a 22°C; Noblet et al., 1989; Black et al., 1993; Coffey et al., 1995). Inclusive, y para nuestra sorpresa, las temperaturas mínimas durante el verano estuvieron por encima de la temperatura confort. Esto explica por qué todas las variables medidas sobre la hembra e inclusive algunas medidas sobre los lechones, tuvieron una fuerte correlación negativa con las altas temperaturas experimentadas en primavera-verano, lo que luego repercutió en el efecto de la inclusión de grasa, tal y como se discutirá a continuación.

En el presente trabajo, la inclusión de grasa incrementó significativamente el ADFI y el ADEI de las cerdas. A su vez, se observó una respuesta lineal a la suplementación con grasa en estas variables tanto en el sistema a campo como en el intensivo. Al igual que lo reportado por Wang et al., (2022), a altas temperaturas, la utilización de grasa aumentó linealmente el ADEI en 0.4 Mcal/día de 0.19 a 0.60 Mcal/día. Los mismos autores encontraron también que, al considerar únicamente los estudios realizados en condiciones de temperatura neutra, el ADEI no fue diferente entre los tratamientos de control y con grasa añadida. Si bien la temperatura ambiental es quizás el factor más importante, no es el único. Rosero et al., (2016) detallan que el nivel de suplementación

pueden influir en la respuesta sobre el ADEI. Dichos autores señalan que los estudios examinados en su análisis utilizaron niveles que oscilaban entre el 2 y el 12% de lípidos añadidos y la mayoría de los estudios utilizaron niveles superiores al 8%. Los estudios dosis-respuesta fueron realizados por Christon et al., (2005; utilizaron 0, 6 y 12% de lípidos añadidos) y Rosero et al., (2012a, b; que utilizaron 0, 2, 4 y 6% de lípidos añadidos). En nuestro trabajo la respuesta a la suplementación con grasa en el ADEI y ADFI fue observada para una inclusión de 3.5 y 7%. Sin embargo, en las demás variables estudiadas la respuesta fue significativa con una inclusión del 7% de grasa. Esto podría indicar un nivel mínimo de inclusión que rondaría entre un 7 – 8 %. En cuanto al tipo de lípido empleado, se han utilizado una gran variedad de fuentes de lípidos (13 fuentes diferentes), pero los efectos de la fuente de lípidos sobre el ADFI y el ADEI solo se investigaron específicamente en tres estudios (Averette et al., 2002; Lauridsen & Danielsen, 2004 y Rosero et al., 2012b). Ninguno de estos estudios informó de diferencias significativas en ADFI y ADEI entre fuentes.

En lo que respecta al ADFI, cuando tomamos en consideración solo aquellos trabajos llevados a cabo bajo condiciones de termoneutralidad, la inclusión de grasa no alteró o inclusive disminuyó el consumo promedio diario de alimento (Shurson et al., 1986; Neal et al., 1999; Quiniou et al., 2008). Por el contrario, bajo condiciones tropicales la adición de grasa incrementó el ADFI de manera lineal en 0.23 kg/día (Schoenherr et al., 1989; Christon et al., 1999; Rosero et al., 2012b; Wang et al., 2022) lo cual es similar a lo hallado en este trabajo donde la inclusión de grasa incrementó linealmente el ADFI en 0.187 kg/día.

El denominador común en estos estudios es la diferencia en la respuesta a la suplementación con grasa dependiendo si el animal se encuentre o no bajo estrés calórico. Dicha diferencia puede responder al metabolismo de las hormonas que regulan la saciedad liberada por el tracto gastrointestinal (Steinert et al., 2013). Una dieta rica en grasa puede inducir de manera más efectiva la secreción de este tipo de hormonas comparadas con dietas ricas en almidón (Seimon et al., 2009). Otro factor involucrado puede ser la estructura molecular de los ácidos grasos. La longitud de la cadena de carbonos y el grado de saturación de los ácidos grasos impacta en el efecto de la grasa dietaria y la liberación de las hormonas reguladoras de la saciedad (Kaviani and Cooper, 2017). Los ácidos grasos con cadenas de carbonos más largas tienden a tener un efecto más fuerte a la hora de estimular el apetito en comparación con ácidos grasos de cadena corta. Para este trabajo se

empleó una grasa rica en ácidos grasos de cadena larga. Esto podría haber contribuido en el aumento observado del ADFI y ADEI. Sin embargo, no existen suficientes observaciones para determinar con exactitud como la inclusión de grasa altera el consumo de alimento de cerdas en ambientes tropicales. El bajo incremento calórico producto de su digestión y metabolismo se mantiene como el factor principal que explicaría este fenómeno.

## **5.2. Efecto de la inclusión de grasa sobre la pérdida de peso en lactancia**

Se registró la variación de peso de las cerdas desde 24 hs post-parto y el destete como un indicador de su estado metabólico durante la lactancia y posible predictor de su rendimiento reproductivo futuro. En nuestro trabajo, la  $\Delta BW$  tendió a ser menor conforme el nivel de grasa suministrada se incrementaba. Esto no se alinea con lo reportado por Averette et al., (2002) o Ma et al., (2020) en donde la adición de grasa no alteró el  $\Delta BW$ .

Sin embargo, esto puede explicarse por la severidad de pérdida de peso experimentada por la hembra. Wang et al., en 2022 encontraron que en aquellos trabajos en cuyos tratamientos las cerdas control perdieron más de 7,72 kg durante la lactancia, la suplementación con grasa disminuyó la pérdida de peso corporal. A su vez, la temperatura ambiental juega un rol preponderante pero poco estudiado. Solo cuatro estudios (Schoenherr et al., 1989; Christon et al., 2005; Rosero et al., 2012a, b) investigaron los efectos de los lípidos suplementarios cuando las cerdas estaban alojadas bajo temperaturas ambientales termoneutrales y altas. Los datos de estos estudios sugieren que en condiciones de temperatura neutra ( $< 23,7^{\circ}\text{C}$ ) la respuesta de las cerdas a los lípidos suplementarios fue negativa (-4,3 kg de pérdida de peso corporal en comparación con las dietas sin lípidos añadidos). Sin embargo, en el caso de las cerdas alojadas a temperaturas ambiente elevadas ( $> 27^{\circ}\text{C}$ ) se produjo una respuesta positiva (4,6 kg de ganancia de peso en comparación con las dietas sin lípidos añadidos), lo que probablemente se debió a la mayor ingesta calórica cuando se añadieron lípidos a las dietas (como se ha comentado anteriormente). En el presente trabajo, la  $\Delta BW$  de las hembras del grupo control fue considerablemente mayor a dicho valor, más aún, si se toma en cuenta las hembras del SC.

Otra variable que comúnmente suele analizarse junto con la  $\Delta BW$  es el espesor de grasa dorsal. Por limitaciones en recursos, para este trabajo no se pudo contar con un ecógrafo de medición de grasa dorsal. Sin embargo, la inclusión de grasa durante la lactancia puede reducir la pérdida de

espesor de grasa dorsal. Shurson and Irvin (1992) encontraron que la adición de 10% de aceite de maíz incrementó en 1mm el de espesor de grasa dorsal durante la lactancia. Los resultados obtenidos a posterior por Rosero et al., 2012b apoyan esto. Es plausible que los lípidos suplementarios también tengan un mayor efecto positivo en el cambio de la grasa dorsal en cerdas alojadas a altas temperaturas ambientales, como lo apoya la mayor ingesta calórica y las mejoras en el cambio del peso corporal de la cerda; sin embargo, no hay suficientes datos publicados para verificar esta hipótesis.

### **5.3. Efecto de la inclusión de grasa sobre el intervalo destete-celo**

Uno de los efectos más consistentes a lo largo de los trabajos revisados es la reducción del intervalo destete-celo (IDC) cuando se adiciona grasa a la dieta. En nuestro trabajo la incorporación de grasa en un 7% resultó en una reducción significativa del IDC, llegando a una diferencia de 1.05 días respecto al grupo control. Varios autores han reportado también una reducción en el intervalo destete-celo, aunque con valores superiores a los encontrados en este trabajo: Shurson et al., 1986 reportan una reducción en su IDC de 9.69 a 7.25 días cuando se les adicionó un 10% de grasa en su dieta. Resultados similares fueron hallados por Rosero et al., 2012a y Park et al., 2008. La relación entre la inclusión de lípidos y el acortamiento del IDC es compleja y no del todo comprendida.

La grasa se considera desde hace tiempo un regulador nutricional y metabólico de la reproducción en las cerdas (Booth, 1990). En mujeres, ratones y ratas, las dietas enriquecidas en grasa aumentan los esteroides (estradiol y progesterona) en circulación (Leibowitz et al., 1998). Así pues, es probable que la grasa esté vinculada en la inducción de la ovulación tras el destete y en el acortamiento del IDC. Otro vínculo probable es la pérdida de peso corporal durante lactancia. Según reportan Park et al., 2008 las cerdas que tuvieron mayores pérdidas de peso y de grasa dorsal durante la lactación experimentaron una mayor incidencia de retraso del celo destete que las que perdieron menos peso y grasa dorsal. Otras posibles explicaciones han sido postuladas, pero no se discutirán en este trabajo por considerar que exceden los objetivos del mismo.

### **5.4. Efecto de la inclusión de grasa sobre el rendimiento de la camada**

A diferencia de todas las variables anteriormente mencionadas, el número de partos tuvo un efecto significativo en la respuesta de las variables de lechones nacidos vivos, totales y peso al nacimiento.

Sin embargo, este efecto quedó limitado a aquellas hembras de primer y segundo parto, en donde una mayor variabilidad en los índices zootécnicos al parto es esperable (Whittemore, 1996) ya que el número de parición es relacionado con el crecimiento del organismo y en particular, con el desarrollo del sistema reproductivo de la cerda (Hoving et al., 2011; Knecht et al., 2015). Para aquellas hembras de más de 2 partos la inclusión de grasa tuvo efectos positivos en las variables antes mencionadas.

La inclusión de grasa en las dietas de gestación puede tener un beneficio potencial porque pueden aumentar la grasa corporal de los lechones al nacer (Boyd et al., 1979). Esto puede ser especialmente importante teniendo en cuenta la reducida grasa corporal de los lechones al nacimiento (< 2%; Seerley et al., 1974) y el rápido agotamiento de las reservas de glucógeno (Boyd et al., 1978) en los 2 primeros días. En este trabajo la inclusión de grasa no tuvo efectos significativos sobre el número de lechones nacidos muertos y momificados. Sin embargo, se observó un incremento en el número de lechones nacidos vivos, totales y en el peso al nacimiento cuando se incorporó grasa en un 7%.

El incremento en el número de LNV, al igual que las variables tratadas anteriormente, se relaciona con la temperatura ambiental a la que estuvieron expuestas las cerdas. En un total de 2800 observaciones analizadas por Wang et al., (2022) encontraron que la adición de grasa no afecta el LNV a temperatura neutral pero cuando las mismas se hallan en estrés calórico la respuesta sobre el número de lechones nacidos vivos es favorable. El nivel de grasa añadida también juega un rol preponderante en este aspecto. Cuando la adición de grasa es mayor al 10% se han encontrado efectos adversos sobre el LNV, disminuyendo su cantidad y aumentando el número de LNMo y LNMu (Pettigrew 1981). Por su parte, Neal et al., (1999) informaron de que la adición de grasa amarilla de baja acidez a las dietas de lactancia al 0%, 3%, 6% y 9% de la dieta no mejoró el número de lechones nacidos vivos, nacidos muertos, momificados o el peso al nacer. Resultados similares se observaron en cerdas alimentadas con grasa suplementaria a más del 8% de la dieta (Averette et al., 1999; Lauridsen & Danielsen, 2004). Esto puede estar asociado con la suplementación dietética de grasa que comenzó en el día 90 de gestación, dado que el tamaño de la camada y que la mayor parte de la pérdida embrionaria se produce durante el periodo de implantación (Jin et al., 2017). Esto último suele ser más frecuente en hembras de primer parto o

muy viejas. En nuestro trabajo las hembras de primer parto tuvieron consistentemente el rendimiento más bajo en las variables de LNV, LNMO, LNMu y PN.

En relación a esta última la adición de grasa mejoró significativamente el peso promedio de los lechones al nacimiento. En promedio, los lechones provenientes de madres que consumieron la dieta con 7% de inclusión de grasa tuvieron lechones 0.172kg más pesados al nacimiento. Esto es similar a lo encontrado por Christon et al., 1999 y Christon et al., 2005, en donde la inclusión de grasa mejoró el peso al nacimiento de los lechones en 0.240 kg. Una posible explicación para este efecto es que a partir del día 60 de gestación, el peso de los fetos se incrementa de rápidamente de manera cuadrática a medida que progresa la gestación (McPherson et al., 2004). Por ello, un incremento del consumo de alimento favorecido por la adición de grasa podría permitir que este proceso se desarrolle normalmente y sin restricciones.

En este trabajo, un incremento en el ADG fue registrado y consecuentemente un mayor peso al destete fue observado cuando se incorporó grasa al 7% en el sistema a campo. Esto es particularmente destacado debido a que se esperaba un menor rendimiento de la camada en condiciones a campo. Sin embargo, para explicar esto, la literatura vuelve a remitirnos al efecto de las condiciones del ambiente. En condiciones de termoneutralidad el ADG permanece inalterado frente a la incorporación de grasa, pero esta situación cambia cuando las cerdas se encuentran en condiciones de altas temperaturas (Neal et al., 1999; Christon et al., 2005; Wang et al., 2022). Estos últimos, encontraron que en condiciones de estrés calórico los lechones provenientes de madres suplementadas con grasa ganaron 0.100 a 0.190 kg/día en comparación con sus pares de la dieta control. Similares resultados, pero más modestos, fueron los descritos por Petigrew & Moser (1991) en donde detallan una ganancia de entre 0.070 y 0.080 kg/día considerando una lactancia de 21 días. Estrechamente relacionado a la ADG se encuentra el peso al destete de los lechones que en este trabajo se vio favorecido por la adición de grasa, nuevamente en el sistema a campo. Similares resultados en cuanto al peso al nacimiento han sido encontrados por Tilton et al., (1999b) y Lauridsen & Danielsen (2004).

Otras de las variables que fueron afectadas por la inclusión de grasa fueron el número de lechones destetados y la tasa de supervivencia pre-destete, las cuales mostraron diferencias significativas cuando se incorporó grasa al 7% en el sistema a campo. Entre los factores que pueden explicar el comportamiento de estas variables encontramos que las cerdas alimentadas con la D2 en el SC

tuvieron camadas con mayores PN y ADG que sus pares de otros tratamientos. Elevado PN se relaciona con una mayor cantidad de reservas de energía del lechón, una mayor capacidad de escape de posibles aplastamientos y mayores posibilidades de consumir calostro en cantidades suficientes, mientras que un mayor ADG se debe inherentemente a un correcto consumo de leche durante toda la lactancia (Blavi et al., 2021). Algunos autores han mostrado la fuerte relación entre el alto contenido de grasa en el calostro y leche cuando se incorpora grasa a la dieta (Rosero et al., 2015; Bai et al., 2017; Peng et al., 2019; Ma et al., 2020) lo cual está estrechamente relacionado con tasas de supervivencia pre-destete mayores, si bien en el presente trabajo de tesis, el contenido de grasa del calostro y la leche no fue un parámetro medido. Pettigrew & Moser (1991) observaron que la incorporación de grasa a la dieta de cerdas mejoró la tasa de supervivencia predestete en granjas donde la supervivencia era menor al 80%. Mientras que cuando la tasa de supervivencia era superior al 80% la adición de grasa tenía un efecto mínimo o nulo. Más de dos décadas han transcurrido desde este estudio y desde 1991 se han encontrado mejoras significativas en los sistemas de producción animal, principalmente en genética, pero también en instalaciones, manejo, nutrición y bienestar animal. Al día de hoy, tasas de supervivencia del 90% se consideran normales e incluso bajas en granjas altamente tecnificadas. Esto es importante señalarlo dado que en este trabajo la incorporación de grasa mejoró notablemente (10.1%) la tasa de supervivencia pre-destete en el sistema a campo, el cual siempre se ha caracterizado por tasas de mortalidad pre-destete mayores que los observados en los sistemas intensivos.

### **5.5. Efecto de la inclusión de grasa sobre variables hormonales y metabolitos**

En las últimas décadas se ha puesto mayor foco sobre el entendimiento de las señales nutricionales que impactan sobre el hipotálamo, la glándula pituitaria y los órganos reproductivos. Estas señales que vinculan la nutrición y la reproducción pueden ser categorizadas en hormonas (tales como la insulina, leptina, hormona de crecimiento, tiroxina, y glucocorticoides), factores de crecimiento (IGF-1 y IGF-II) y metabolitos (glucosa, NEFA y urea). Numerosos autores han examinado estos intermediarios y sus asociaciones con la reproducción (Cosgrove & Foxcroft 1996; Quesnel et al., 1998; Van den Brand & Kemp, 2006).

En nuestro estudio, nos centramos en la insulina, la glucosa, la hormona luteinizante y los ácidos grasos no esterificados como señales nutricionales. Los niveles séricos de NEFA fueron diferentes entre tratamientos. Las cerdas alimentadas con dietas sin adición de grasa presentaron las mayores



concentraciones séricas de NEFA mientras que los niveles más bajos fueron pertenecientes en aquellas cerdas que consumieron la dieta con 7% de inclusión de grasa. Esto es similar a los resultados obtenidos por Tilton et al., (1999a) pero discrepan con aquellos obtenidos por Jones et al., (2002). Esto podría deberse a que el ADEI durante la lactancia fue menor en el trabajo de Jones et al., (2022) comparado con el de Tilton et al., (1999a) lo que podría indicar un estado catabólico mayor y por consiguiente, niveles más altos de NEFA.

La baja ingesta de alimento y la pérdida severa de peso corporal durante la lactancia se asocian con niveles elevados de NEFA en sangre (de Bragança & Prunier, 1999). Hulten et al., (2002) dividieron a las cerdas en grupos de alto y bajo catabolismo basándose en las concentraciones medias de NEFA en sangre. Las cerdas del grupo de alto catabolismo (concentración relativamente alta de NEFA en sangre) perdieron considerablemente más peso durante la lactancia que las del grupo de bajo catabolismo. Estos estudios demostraron que las altas concentraciones plasmáticas de NEFA reflejan el estado metabólico de las cerdas lactantes (Hulten et al., 2002). Esto es apoyado por los resultados de Valros et al., (2003), quienes encontraron correlaciones relativamente fuertes entre la pérdida de peso corporal de la cerda y las concentraciones de NEFA en plasma antes y después de la alimentación ( $r = -0.61$  y  $r = -0.75$ , respectivamente).

Las pruebas de las relaciones entre la concentración plasmática de NEFA y la reproducción en el cerdo son escasas y, en la mayoría de los casos, débiles. Aunque no es probable que las dietas ricas en carbohidratos contribuyan a disminuir el aumento de la concentración plasmática de NEFA durante la lactancia. Este efecto se consigue limitando potencialmente la disponibilidad de grasa dietética y reduciendo la utilización de la grasa corporal almacenada. Otros estudios (Tokach et al., 1992; Paterson & Pearce, 1994) reportaron niveles más altos de NEFA en plasma en cerdas con un intervalo destete-celo prolongado comparado con cerdas con un IDC corto. Esto puede ser atribuido a la débil correlación negativa entre la concentración de NEFA en plasma y el número de pulsos de hormona luteinizante en la sangre.

En nuestro trabajo no se encontraron efectos significativos de la inclusión de grasa sobre los niveles de glucosa e insulina en suero. Los estudios que muestran una fuerte relación entre la fuente de energía de la dieta y los niveles plasmáticos de insulina y glucosa se realizaron en condiciones termoneutrales (van den Brand et al., 2000; Park et al., 2008). Este es un factor importante a tener en cuenta ya que la mayoría de los estudios recientes han informado de una alteración del

metabolismo de la insulina y la glucosa cuando los animales están bajo estrés térmico (Baumgard & Rhoads, 2013; Ross et al., 2017; Seibert et al., 2018). Aunque los mecanismos fisiológicos detrás de los niveles de insulina y el rendimiento reproductivo de los cerdos bajo estrés térmico siguen sin estar claros, se ha informado que las altas temperaturas ambientales afectan negativamente a las vías de señalización intracelular esenciales para el éxito de la función reproductiva.

Existen dos teorías para explicar la relación entre el equilibrio energético y la reproducción. La primera, conocida como la hipótesis del combustible metabólico, sugiere que las moléculas nutritivas y los metabolitos pueden oxidarse y servir como estímulos sensoriales para las respuestas del eje reproductivo (Schneider, 2004). La segunda teoría propone que la grasa tiene un efecto estimulante sobre la producción de estrógenos y la globulina fijadora de hormonas sexuales. Al suplementar la grasa se aumenta la producción de estrógeno y globulina fijadora de hormonas sexuales, aumentando así la sensibilidad del eje hipotalámico-hipofisario-ovárico (Mikhael et al., 2019). El mantenimiento de la función reproductora requiere un cierto nivel de adiposidad. En consecuencia, la grasa cumple una doble función como combustible metabólico y como medio de preservación del tejido adiposo, regulando así las funciones reproductivas.

Por último, se ha encontrado una respuesta significativa a los niveles de LH en aquellas cerdas que consumieron la dieta con 7% de inclusión de grasa. Nuestros resultados no concuerdan con los reportados por Park et al., (2008). Estos autores señalan que diferentes niveles de energía o grasa en la dieta durante la lactancia no tienen efectos profundos o significativos sobre las concentraciones de insulina, FSH y LH después de la lactancia. Sin embargo, los cambios hormonales en respuesta a dietas fueron inconsistentes. Los estudios encontraron que una mayor pérdida de peso corporal durante la lactación se asocia con una menor concentración de LH (Kemp, 1995; van den Brand et al., 2001). En el presente trabajo las cerdas que recibieron las dietas con la mayor concentración de grasa (7%) tuvieron menor pérdida de peso corporal durante la lactancia. El balance energético durante una parte de la lactación parece deprimir la generación de una señal efectiva de LH por el eje hipotálamo-hipófisis durante y después de la lactación, lo que también sugirieron Tokach et al., (1992). Las concentraciones reducidas de LH también se reflejaron en el retraso del IDC en cerdas alimentadas con la dieta control. Koketsu et al., (1998) también observaron mayores concentraciones de LH y frecuencia de pulso al destete en cerdas alimentadas con dietas ricas en grasa. En relación a esto último, en nuestro estudio no se pudieron medir los

pulsos de frecuencia de LH debido a su gran exigencia logística y de instalaciones que requiere mantener animales cateterizados durante un periodo prolongado de tiempo en una granja de tipo comercial.

CAPÍTULO VI  
CONCLUSIONES

En base al trabajo de tesis realizado se concluye que la inclusión de grasa en dietas de cerdas gestantes a partir del día 90 de gestación y durante la lactancia, mejoró significativamente su consumo promedio diario de alimento y de energía. Además, disminuyó la pérdida de peso corporal durante la lactancia y el intervalo destete-celo. Las camadas provenientes de cerdas que consumieron dietas con inclusión de grasa tuvieron una mayor tasa de supervivencia pre-destete, una mayor ganancia diaria de peso vivo y un mayor peso al destete. También, el número y peso de lechones nacidos vivos y destetados se vio mejorado. Estas mejoras en los índices productivos y reproductivos fueron más acentuadas en el sistema a campo.

Dado que el trabajo se llevó a cabo en un ambiente sub-tropical, se pudo determinar que la respuesta a la suplementación con grasa se ve fuertemente vinculada a la temperatura ambiental a las que estén sometidos los animales. En este contexto, los efectos de la inclusión con grasa fueron mayores en el SC, en donde la temperatura media durante todo el experimento fue superior a las registradas en el SI.

Para las variables de lechones nacidos vivos, muertos, momificados, totales y peso al nacimiento, se registró un efecto del número de partos. Sin embargo, dicho efecto no alteró los efectos principales de la suplementación con grasa. En este sentido, las hembras primerizas obtuvieron la mayor variación en su respuesta con respecto a hembras de más de dos partos en ambos sistemas.

En relación a las mediciones de metabolitos efectuada, se registró un efecto significativo de la suplementación sobre los niveles séricos de LH y NEFA. No se detectaron efectos sobre de los niveles de insulina y glucosa como se había hipotetizado.

Los resultados de esta tesis contribuyen al conocimiento de nuevas posibilidades de manejo nutricional y reproductivo para el sector productivo porcino, y aportan oportunidades de desarrollo de mayores investigaciones respecto a la temática, para poder lograr mayores rindes económicos y productivos.

CAPÍTULO VII  
BIBLIOGRAFÍA

1. Auvigne V., Leneveu P., Jehannin C., Peltoniemi O., Sallé E. 2010. Seasonal infertility in sows: a five-year field study to analyze the relative roles of heat stress and photoperiod. *Theriogenology*. 74(1).60-66. doi.org/10.1016/j.theriogenology.2009.12.019
2. Averette L., Odle J., Monaco M., Donovan S. 1999. Dietary fat during pregnancy and lactation increases milk fat and insulin-like growth factor I concentrations and improves neonatal growth rates in swine. *The Journal of Nutrition*. 129(12). 2123-2129. doi.org/10.1093/jn/129.12.2123.
3. Averette L., Odle J., Soede J., Hansent J. 2002. Dietary medium-or long-chain triglycerides improve body condition of lean-genotype sows and increase suckling pig growth. *Journal of animal science*. 80(1), 38-44.
4. Azain M. 2000. Fat in swine nutrition. En *Swine Nutrition* (2<sup>nd</sup> Ed). Lewis A. y Southern L. (Eds.). CRC press. Washington. DC. Pp. 115-126. ISBN 0-8493-0696-5.
5. Azain M., Bullock K., Kasser T., Veenhuizen J. 1992. Relationship of mode of porcine somatotropin administration and dietary fat on the growth performance and carcass characteristics of finishing pigs. *J. Anim. Sci*. 70:3086. doi.org/10.2527/1992.70103086x.
6. Bai Y., Wang C., Zhao X., Shi B., Shan A. 2017. Effects of fat sources in sow on the fatty acid profiles and fat globule size of milk and immunoglobulins of sows and piglets. *Animal Feed Science and Technology*. 234. 217-227. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.10.006.
7. Baumgard L. & Rhoads R. 2013. Effects of heat stress on post-absorptive metabolism and energetics. *Annual Review of Animal Biosciences*. 1(1). 311-33. doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103644.
8. Bergen W. & Mersmann H. 2005. Comparative aspects of lipid metabolism: Impact on contemporary research and use of animal models. *J. Nutr*. 135:2499–2502. doi.org/10.1093/jn/135.11.2499.
9. Beyer M., Jentsch W., Kuhla S., Wittenburg H., Kreienbring F., Scholze H., Rudolph P., Metges C. 2007. Effects of dietary energy intake during gestation and lactation on milk yield and composition of first, second and fourth parity sows. *Archives of Animal Nutrition*. 61(6). 452-468. doi.org/10.1080/17450390701563433.
10. Blavi L., Solà-Oriol D., Llonch P., López-Vergé S., Martín-Orúe S., Pérez J. 2021. Management and feeding strategies in early life to increase piglet performance and welfare around weaning: A review. *Animals*. 11(2), 302. <https://doi.org/10.3390%2Fani11020302>

11. Black J., Mullan B., Lorsch M., Giles L. 1993. Lactation in the sow during heat stress. *Livestock Production Science*. 35(1-2). 153-170. doi.org/10.1016/0301-6226(93)90188-N.
12. Bloemhof S., Mathur P., Knol E., Van der Waaij E. 2013. Effect of daily environmental temperature on farrowing rate and total born in dam line sows. *Journal of Animal Science*. 91(6). 2667-2679. doi.org/10.2527/jas.2012-5902.
13. Boddicker R., Seibert J., Johnson J., Pearce S., Selsby J., Gabler N., Lucy M., Safranski T., Rhoads R., Baumgard L., Ross J. 2014. Gestational heat stress alters postnatal offspring body composition indices and metabolic parameters in pigs. *PLoS One*. 9(11). e110859. doi.org/10.1371/journal.pone.0110859.
14. Booth P. 1990. Metabolic influences on hypothalamic–pituitary–ovarian function in the pig. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 40. 89–100. PMID: 2192054.
15. Boskou D. 2015. Olive oil: Properties and processing for use in food. En *Specialty oils and fats in food and nutrition*. Woodhead Publishing. Pp. 3-38. doi.org/10.1016/B978-1-78242-376-8.00001-6.
16. Boyd R., Moser B., Peo E., Lewis A. 1979. Effect of tallow and choline chloride supplementation prior to parturition and during lactation on pig survival and growth. *J. Anim. Sci.* 45(Suppl. 1):25. https://doi.org/10.2527/jas1982.5411
17. Che L., Yang Z., Xu M., Zhang Z., Liu P., Xu S., Che L., Lin Y., Fang Z., Feng B., Li J., Wu D. 2015. Dietary energy intake affects fetal survival and development during early and middle pregnancy in Large White and Meishan gilts. *Animal Nutrition*. 1(3). 152-159. doi.org/10.1016/j.aninu.2015.08.009.
18. Chiba L. 2013. *Sustainable Swine Nutrition*. L. Chiba (Ed.). Wiley-Blackwell. Ames. IA. ISBN:9780813805344.
19. Chiba L. 2023. *Sustainable Swine Nutrition*. L. Chiba (Ed.). Second edition. Hoboken. NJ. USA: Wiley-Blackwell. ISBN: 978-1-119-58389-9.
20. Cho J. & Kim I. 2012. Fat utilization for pigs: a review. *Journal of Animal and Veterinary Advances*. 11(6). 878-882. doi.org/10.3923/javaa.2012.878.882.
21. Christon R., Lionet H., Racon B., Saminadin G., Gaudru L., Schaeffer B., Cerneau. P. 2005. The effect of dietary fat level on feed intake and performances of lactating sows and their litters. *Biotechnology in Animal Husbandry*. 21(5-6). 195-204. doi.org/10.2298/BAH0506195C.



22. Christon R., Saminadin G., Lionet H., Racon B. 1999. Dietary fat and climate alter food intake, performance of lactating sows and their litters and fatty acid composition of milk. *Animal Science*. 69(2). 353-365. doi.org/10.1017/S135772980005092X.
23. Claus R., Günthner D., Letzguss H. 2007. Effects of feeding fat-coated butyrate on mucosal morphology and function in the small intestine of the pig. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 91(7-8). 312-318. https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2006.00655.x
24. Coffey M., Seerley R., Funderburke D., McCampbell H. 1982. Effect of heat increment, and level of dietary energy and environmental temperature on the performance of growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 54:95. doi.org/10.2527/jas1982.54195x.
25. Coffey R., Parker G., Laurent K. 1995. Feeding growing-finishing pigs to maximize lean growth rate. University of Kentucky, Lexington, and Kentucky State University, Frankfort. Cooperative Extension Service. ASC-147.
26. Collin A., Van Milgen J., Dubois S., Noblet J. 2001. Effect of high temperature on feeding behaviour and heat production in group-housed young pigs. *British Journal of Nutrition*. 86(1). 63-70. doi.org/10.1079/BJN2001356.
27. Cosgrove J. & Foxcroft G. 1996. Nutrition and reproduction in the pig: ovarian aetiology. *Animal Reproduction Science*. 42(1-4). 131-141. doi.org/10.1016/0378-4320(96)01523-0.
28. Cox N., Britt J., Armstrong W., Alhusen H. 1983. Effect of feeding fat and altering weaning schedule on rebreeding in primiparous sows. *Journal of Animal Science*. 56(1). 21-29. doi.org/10.2527/jas1983.56121x.
29. Curtis S. 1983. Environmental managements in animal agriculture. Iowa State University, Press. Ames. ISBN: 9780813805566.
30. Curtis S. 1985. Physiological responses and adaptations of swine. En *Stress physiology in livestock* No. II. M. K. Yousef (ed.). CRC Press. Las Vegas, Nevada. Pp. 62 - 63.
31. de Bragança M. & Prunier A. 1999. Effects of low feed intake and hot environment on plasma profiles of glucose, non-esterified fatty acids, insulin, glucagon, and IGF-I in lactating sows. *Domestic Animal Endocrinology*. 16(2). 89-101. doi.org/10.1016/S0739-7240(99)00002-8.
32. De Rensis F., Ziecik A., Kirkwood R. 2017. Seasonal infertility in gilts and sows: Aetiology, clinical implications and treatments. *Theriogenology*. 96. 111-117. doi.org/10.1016/j.theriogenology.2017.04.004.

33. Delgado C., Rosegrant M., Steinfeld H., Siméon E., Courbois C. 1999. Livestock to 2020: The next food revolution. Vision initiative food, agriculture, and the environment discussion paper 28. International Food Policy Research Institute. Washington D.C. doi.org/10.5367/000000001101293427.
34. Dicklin M., Robinson J., Lin X., Odle J. 2006. Ontogeny and chain-length specificity of gastrointestinal lipases affect medium-chain triacylglycerol utilization by newborn pigs. *Journal of Animal Science*. 84(4). 818-825. doi.org/10.2527/2006.844818x.
35. Dohlman E., Hansen J., Boussios D. 2022. USDA Agricultural Projections to 2031 (No. 1962-2022-1414).
36. Einarsson S., Brandt Y., Lundeheim N., Madej A. 2008. Stress and its influence on reproduction in pigs: a review. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 50(1). 1-8. doi.org/10.1186/1751-0147-50-48.
37. Fainberg H., Almond K., Li D., Rauch C., Bikker P., Symonds M., Mostyn A. 2014. Impact of maternal dietary fat supplementation during gestation upon skeletal muscle in neonatal pigs. *BMC Physiology*. 14(1). 1-12. doi.org/10.1186/s12899-014-0006-0.
38. Fernstrom J. 1983. Role of precursor availability in control of monoamine biosynthesis in brain. *Physiol. Rev.* 63. 484–546. doi.org/10.1152/physrev.1983.63.2.484.
39. Flowers B., Cantley T., Martin M., Day B. 1989. Effect of elevated ambient temperatures on puberty in gilts. *Journal of Animal Science*. 67(3). 779-784. doi.org/10.2527/jas1989.673779x.
40. Food and Agriculture Organization (FAO). 2003. World agriculture: towards 2015-2030 an FAO perspective. Bruinsma, J. (Ed.). Londres, UK: Earthscan Publications Ltd. Pp. 20. ISBN: 92-5-1048350-5.
41. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2022. Meat Market Review: Emerging Trends and Outlook. Rome. Recuperado de [www.fao.org/markets-and-trade/publications/](http://www.fao.org/markets-and-trade/publications/).
42. Gourdine J., Bidanel J., Noblet J., Renaudeau D. 2006. Effects of breed and season on performance of lactating sows in a tropical humid climate. *Journal of Animal Science*. 84(2). 360-369. doi.org/10.2527/2006.842360x.

43. Hedemann M. & Knudsen K. 2007. Resistant starch for weaning pigs—effect on concentration of short chain fatty acids in digesta and intestinal morphology. *Livestock Science*. 108(1-3). 175-177. doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.045.
44. Hoving L., Soede N., Graat E., Feitsma H., Kemp B. 2011. Reproductive performance of second parity sows: Relations with subsequent reproduction. *Livestock Science*. 140(1-3), 124-130. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.02.019
45. Hulten F., Valros A., Rundgren M., Einarsson S. 2002. Reproductive endocrinology and postweaning performance in the multiparous sow: Part 1. Influence of metabolic status during lactation. *Theriogenology*. 58(8). 1503-1517. doi.org/10.1016/S0093-691X(02)01059-2.
46. Huynh T. 2005. Heat stress in growing pigs. Wageningen University and Research. Wageningen. The Netherlands. ISBN: 90-8504-156-2.
47. Jin C., Fang Z., Lin Y., Che L., Wu C., Xu S., Feng B., Li J., Wu, D. 2017. Influence of dietary fat source on sow and litter performance, colostrum and milk fatty acid profile in late gestation and lactation. *Animal Science Journal*. 88(11), 1768-1778. https://doi.org/10.1111/asj.12836.
48. Johnson J., Boddicker R., Sanz-Fernandez M., Ross J., Selsby J., Lucy M., Safranski T., Rhoads R., Baumgard L. 2013. Effects of mammalian in utero heat stress on adolescent body temperature. *International Journal of Hyperthermia*. 29:7. 696-702. doi.org/10.3109/02656736.2013.843723.
49. Jones G., Edwards S., Sinclair A., Gebbie F., Rooke J., Jagger S., Hoste S. 2002. The effect of maize starch or soya-bean oil as energy sources in lactation on sow and piglet performance in association with sow metabolic state around peak lactation. *Animal Science*. 75(1). 57-66. doi.org/10.1017/S1357729800052838.
50. Kaviani S. & Cooper J. 2017. Appetite responses to high-fat meals or diets of varying fatty acid composition: a comprehensive review. *European journal of clinical nutrition*. 71(10), 1154-1165. https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.250
51. Keesecker D., Wolf B., Tokach M., Nelssen J. 1986. Adding fat to sow lactation diets: effect on sow and litter performance. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*. 0(10). 27-31. Conference paper. hdl.handle.net/2097/3705.

52. Kemp B., Soede N., Helmond F., Bosch M. 1995. Effects of energy source in the diet on reproductive hormones and insulin during lactation and subsequent estrus in multiparous sows. *Journal of Animal Science*. 73(10). 3022-3029. doi.org/10.2527/1995.73103022x.
53. Kerr B., Kellner T., Shurson G. 2015. Characteristics of lipids and their feeding value in swine diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 6(1). 30. doi.org/10.1186/s40104-015-0028-x.
54. Kim B., Lindemann M., Cromwell G., Balfagon A., Agudelo J. 2007. The correlation between passage rate of digesta and dry matter digestibility in various stages of swine. *Livestock Science*. 109(1-3). 81-84. doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.082.
55. Knap P. 1999. Simulation of growth in pigs: evaluation of a model to relate thermoregulation to body protein and lipid content and deposition. *Animal Science*. 68(4). 655-679. doi.org/10.1017/S1357729800050694.
56. Knecht D., Środoń S., Duziński K. 2015. The impact of season, parity and breed on selected reproductive performance parameters of sows. *Archives Animal Breeding*. 58(1), 49-56. <https://doi.org/10.5194/aab-58-49-2015>.
57. Koketsu Y., Dial G., Pettigrew J., Marsh W., King V. 1996. Influence of imposed feed intake patterns during lactation on reproductive performance and on circulating levels of glucose, insulin, and luteinizing hormone in primiparous sows. *Journal of Animal Science*. 74(5). 1036-1046. doi.org/10.2527/1996.7451036x.
58. Koketsu Y., Dial G., Pettigrew J., Xue J., Yang H., Lucia T. 1998. Influence of lactation length and feed intake on reproductive performance and blood concentrations of glucose, insulin and luteinizing hormone in primiparous sows. *Animal Reproduction Science*. 52(2). 153-163. doi.org/10.1016/S0378-4320(98)00093-1.
59. Lammers P., Stender D., Honeyman N. 2007. Environmental needs of the pigs. *Niche Pork Production*. IPIC NPP 210 2007. Recuperado de <https://www.ipic.iastate.edu/>.
60. Lauridsen C. & Danielsen V. 2004. Lactational dietary fat levels and sources influence milk composition and performance of sows and their progeny. *Livestock Production Science*. 91(1). 95-105. doi.org/10.1016/j.livprodsci.2004.07.014.
61. Leibowitz S., Akabayashi A., Alexander J., Wang J. 1998. Gonadal steroids and hypothalamic galanin and neuropeptide Y: role in eating behavior and body weight control in female rats. *Endocrinology*. 139(4), 1771-1780. <https://doi.org/10.1210/endo.139.4.5867>

62. Li S. & Sauer W. 1994. The effect of dietary fat content on amino acid digestibility in young pigs. *Journal of Animal Science*. 72:1737. doi.org/10.2527/1994.7271737x.
63. Lin X., Azain M., Odle J. 2013. Lipids and lipid utilization in swine. En *Sustainable Swine Nutrition*. Chiba L. Oxford. Wiley-Blackwell. Pp. 59-79. ISBN:9780813805344.
64. Little T., Russo A., Meyer J., Horowitz M., Smyth D., Bellon M., Wishart J., Jones K., Feinle-Bisset C. 2007. Free fatty acids have more potent effects on gastric emptying, gut hormones, and appetite than triacylglycerides. *Gastroenterology*. 133(4). 1124-1131. doi.org/10.1053/j.gastro.2007.06.060.
65. Lorsch M. 2005. Definitions of ambient temperature requirements for pigs: a review. *Council Research News*. Recuperado de <http://www.ansci.wisc.edu/>.
66. Lucy M. & Safranski T. 2017. Heat stress in pregnant sows: Thermal responses and subsequent performance of sows and their offspring. *Molecular Reproduction and Development*. 84(9). 946-956. doi.org/10.1002/mrd.22844.
67. Ma C., Liu Y., Liu S., Lévesque C., Zhao F., Yin J., Dong B. 2020. Branched chain amino acids alter fatty acid profile in colostrum of sows fed a high fat diet. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40104-019-0423-9>
68. Mayorga E., Renaudeau D., Ramirez B., Ross J., Baumgard L. 2019. Heat stress adaptations in pigs. *Animal Frontiers*. 9(1). 54-61. doi.org/10.1093/af/vfy035.
69. McPherson R., Ji F., Wu G., Blanton Jr J., Kim S. 2004. Growth and compositional changes of fetal tissues in pigs. *Journal of Animal Science*. 82(9), 2534-2540. <https://doi.org/10.2527/2004.8292534x>
70. Mikhael S., Punjala-Patel A., Gavrilova-Jordan L. 2019. Hypothalamic-pituitary-ovarian axis disorders impacting female fertility. *Biomedicines*. 7(1), 5. doi.org/10.3390/biomedicines7010005.
71. Miller T. 2012. Swine Feed Efficiency: Influence of Temperature. Iowa Pork Industry Center Fact Sheets. Iowa State University. 11: 1- 2.
72. Moreau H., Gargouri Y., Lecat D., Junien J., Verger R. 1988. Screening of preduodenal lipases in several mammals. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Lipids and Lipid Metabolism*. 959(3). 247-252. doi.org/10.1016/0005-2760(88)90197-X.

73. Mount L. 1979. *Adaptation to thermal environment: Man and his productive animals*. Edward Arnold Limited. Thomson Litho Ltd. East Kilbride. Scotland. ISBN: 9780713127409.
74. National Research Council (NRC). (2012). *Nutrient requirements of swine*. Washington. D.C.: National Academies Press. ISBN: 978-0-309-22423-9.
75. Neal S., Irvin K., Shurson G. 1999. Effect of lactation diet fat level on sow and litter performance. *Prof. Anim. Sci.* 15(1). 7-13.
76. Nelson R., Omtvedt I., Turman E., Stephens D., Mahoney G. 1970. Effects of heat stress at various stages of pregnancy on sow productivity. *Miscellaneous Publication*. Oklahoma Agricultural Experiment Station. (N° MP 84). 71-77.
77. Newcomb M., Harmon D., Nelssen J., Thulin A., Allee G. 1991. Effect of energy source fed to sows during late gestation on neonatal blood metabolite homeostasis, energy stores and composition. *Journal of Animal Science*. 69(1). 230-236. doi.org/10.2527/1991.691230x.
78. Ni Z., Chen J., Ding J. 2020. Pig farmers' willingness to recover their production under COVID-19 pandemic shock in China – Empirical evidence from a farm survey. *Journal of Integrative Agriculture*. 19(12). 2891–2902. doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63411-6.
79. Noblet J., Dourmad J., Le Dividich J., Dubois S. 1989. Effect of ambient temperature and addition of straw or alfalfa in the diet on energy metabolism in pregnant sows. *Livestock Production Science*. 21(4). 309-324. doi.org/10.1016/0301-6226(89)90091-2.
80. OECD/FAO. 2022. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031*. OECD Publishing. Paris. doi.org/10.1787/f1b0b29c-en.
81. O'grady J., Lynch P., Kearney P. 1985. Voluntary feed intake by lactating sows. *Livestock Production Science*. 12(4). 355-365. doi.org/10.1016/0301-6226(85)90134-4.
82. Omtvedt I., Nelson R., Edwards R., Stephens D., Turman E. 1972. Influence of heat stress during early, mid and late pregnancy of gilts. *Journal of Animal Science*. 32(2). 312-317. doi.org/10.2527/jas1971.322312x.
83. Park M., Yang Y., Choi J., Yoon S., Ahn S., Lee S., Yang K., Lee K., Chae B. 2008. Effects of dietary fat inclusion at two energy levels on reproductive performance, milk compositions and blood profiles in lactating sows. *Acta Agriculturae Scand Section A*. 58(3). 121-128. doi.org/10.1080/09064700802400803.

84. Paterson A. & Pearce G. 1990. Attainment of puberty in domestic gilts reared under long-day or short-day artificial light regimens. *Animal Reproduction Science*. 23(2). 135-144. doi.org/10.1080/09064700802400803.
85. Paterson A. & Pearce G. 1994. Plasma hormone and metabolite concentrations and the interval from weaning to oestrus in primiparous sows. *Animal Reproduction Science*. 36(3-4). 261-279. doi.org/10.1016/0378-4320(94)90073-6.
86. Patience J., Thacker P., de Lange. C. 1995. *Swine Nutrition Guide*. 2° ed. Saskatoon. Saskatchewan. Canada: Prairie Swine Centre Inc.
87. Peltoniemi O. and Virolainen J. 2006. Seasonality of reproduction in gilts and sows. *Soc Reprod Fertil Suppl*. 62:205-18. PMID: 16866319.
88. Peltoniemi O., Love R., Heinonen M., Tuovinen V., Saloniemi H. 1999. Seasonal and management effects on fertility of the sow: a descriptive study. *Animal Reproduction Science*. 55(1). 47-61. doi.org/10.1016/S0378-4320(98)00159-6.
89. Peng X., Yan C., Hu L., Liu Y., Xu Q., Wang R., Che L. 2019. Effects of fat supplementation during gestation on reproductive performance, milk composition of sows and intestinal development of their offspring. *Animals*. 9(4). 125. doi.org/10.3390/ani9040125.
90. Pettigrew J. 1981. Supplemental dietary fat for peripartal sows: A review. *Journal of Animal Science*. 53:107-117. doi.org/10.2527/jas1981.531107x.
91. Pettigrew J. & Moser R. 1991. Fat in swine nutrition. En *Swine Nutrition*. Miller E., Ullrey D., Lewis A. (Eds.). Stoneham. UK. Butterworth-Heinemann. Pp. 133–146. ISBN: 0849306965.
92. Pluske J., Pethick D., Durmic Z., Hampson D., Mullan B. 2001. Non-starch polysaccharides in pig diets and their influence on intestinal microflora, digestive physiology and enteric disease. En *Recent developments in pig nutrition*. Garnsworthy P.y Wiseman J. (eds). Nottingham University Press. Nottingham. UK. Pp. 123-160. ISBN: 1897676441.
93. Prunier A., de Braganca M., Le Dividich J. 1997. Influence of high ambient temperature on performance of reproductive sows. *Livestock Production Science*. 52(2). 123-133. doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00137-1.
94. Prunier A., Dourmad J., Etienne M. 1994. Effect of light regimen under various ambient temperatures on sow and litter performance. *Journal of Animal Science*. 72(6). 1461-1466. doi.org/10.2527/1994.7261461x.

95. Quesnel H., Pasquier A., Mounier A., Louveau I., Prunier A. 1998. Influence of feed restriction in primiparous lactating sows on body condition and metabolic parameters. *Reprod. Nutr. Dev.* 38:261–274. doi.org/10.1051/rnd:19980306.
96. Quiniou N. & Noblet J. 1999. Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. *Journal of Animal Science.* 77(8). 2124-2134. doi.org/10.2527/1999.7782124x.
97. Quiniou N., Noblet J., Van Milgen J., Dubois S. 2001. Modelling heat production and energy balance in group-housed growing pigs exposed to low or high ambient temperatures. *British Journal of Nutrition.* 85(1). 97-106. doi.org/10.1079/BJN2000217.
98. Quiniou N., Richard S., Mourot J., Etienne M. 2008. Effect of dietary fat or starch supply during gestation and/or lactation on the performance of sows, piglets' survival and on the performance of progeny after weaning. *Animal.* 2(11). 1633-1644. doi.org/10.1017/S1751731108002991.
99. Raihan A. & Himu H. 2023. Global impact of COVID-19 on the sustainability of livestock production. *Global Sustainability Research.* 2(2). 1-11. doi.org/10.56556/gssr.v2i2.447.
100. Ravindran V., Tanchaoenrat P., Zaefarian F., Ravindran G. 2016. Fats in poultry nutrition: Digestive physiology and factors influencing their utilization. *Animal Feed Science and Technology.* 213. 1-21. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.01.012.
101. Renaudeau D., Collin A., Yahav S., De Basilio V., Gourdine J., Collier R. 2012. Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal.* 6(5). 707-728. doi.org/10.1017/S1751731111002448.
102. Rhoads R., Baumgard L., Suagee J. 2013. 2011 and 2012 Early Careers Achievement Awards: metabolic priorities during heat stress with an emphasis on skeletal muscle. *Journal of Animal Science.* 91(6):2492-503. doi.org/10.2527/jas.2012-6120.
103. Ribeiro B., Lanferdin E., Palencia J., Lemes M., de Abreu M., de Souza Cantarelli V., Ferreira R. 2018. Heat negatively affects lactating swine: A meta-analysis. *Journal of Thermal Biology.* 74. 325-330. doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.04.015.
104. Rodríguez M., Díaz-Amor G., Morales J., Koketsu Y., Piñeiro C. 2023. Feed intake patterns of modern genetics lactating sows: characterization and effect of the reproductive parameters. *Porcine Health Management.* 9(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s40813-022-00300-y>



105. Rosegrant M., Paisner M., Meijer S., Witcover J. 2001. Global food projections to 2020: Emerging trends and alternative futures. International Food Policy Research Institute. Washington. DC. ISBN: 0896296407.
106. Rosero D., Boyd R., Odle J., van Heugten E. 2016. Optimizing dietary lipid use to improve essential fatty acid status and reproductive performance of the modern lactating sow: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 7(1). 34. doi.org/10.1186/s40104-016-0092-x.
107. Rosero D., Odle J., Mendoza S., Boyd R., Fellner V., Van Heugten E. 2015. Impact of dietary lipids on sow milk composition and balance of essential fatty acids during lactation in prolific sows. *Journal of Animal Science*. 93(6). 2935-2947. doi.org/10.2527/jas.2014-8529
108. Rosero D., Van Heugten E., Odle J., Arellano C., Boyd R. 2012a. Response of the modern lactating sow and progeny to source and level of supplemental dietary fat during high ambient temperatures. *Journal of Animal Science*. 90(8). 2609-2619. doi.org/10.2527/jas.2011-4242.
109. Rosero D., Van Heugten E., Odle J., Cabrera R., Arellano C., Boyd R. 2012b. Sow and litter response to supplemental dietary fat in lactation diets during high ambient temperatures. *Journal of Animal Science*. 90(2). 550-559. doi.org/10.2527/jas.2011-4049.
110. Ross J., Hale B., Seibert J., Romoser M., Adur M., Keating A., Baumgard L. 2017. Physiological mechanisms through which heat stress compromises reproduction in pigs. *Molecular Reproduction and Development*. 84(9). 934-945. doi.org/10.1002/mrd.22859.
111. Sanz Fernandez M., Stoakes S., Abuajamieh M., Seibert J., Johnson J., Horst E. Rhoads R., Baumgard L. 2015. Heat stress increases insulin sensitivity in pigs. *Physiological Reports*. 3(8). https://doi.org/10.14814%2Fphy2.12478
112. Schneider J. 2004. Energy balance and reproduction. *Physiology & behavior*. 81(2), 289-317. doi.org/10.1016/j.physbeh.2004.02.007.
113. Schoenherr W., Stahly T., Cromwell G. 1989. The effects of dietary fat or fiber addition on yield and composition of milk from sows housed in a warm or hot environment. *Journal of Animal Science*. 67(2). 482-495. doi.org/10.2527/jas1989.672482x.

114. Secretaria de Agricultura. Ganadería y Pesca (SAGyP) – Ministerio de Economía. 2023. Evolución anual de indicadores. Recuperado de <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/porcinos/estadistica/>
115. Seerley R. 1984. The use of fat in sow diets. En *Fats in Animal Nutrition*. Wiseman. J. Ed. Londres: Butterworths. Pp. 333-352. ISBN: 0-408-10864-9.
116. Seibert J., Graves K., Hale B., Keating A., Baumgard L., Ross J. 2018. Characterizing the acute heat stress response in gilts: I. Thermoregulatory and production variables. *Journal of Animal Science*. 96(3), 941-949. doi.org/10.1093/jas/skx036.
117. Seimon R., Feltrin K., Meyer J., Brennan I., Wishart J., Horowitz M., Feinle-Bisset C. 2009. Effects of varying combinations of intraduodenal lipid and carbohydrate on antropyloroduodenal motility, hormone release, and appetite in healthy males. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 296(4), R912-R920. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.90934.2008>
118. Shurson G., Hogberg M., DeFever N., Radecki S., Miller E. 1986. Effects of adding fat to the sow lactation diet on lactation and rebreeding performance. *Journal of Animal Science*. 62(3). 672-680. doi.org/10.2527/jas1986.623672x.
119. Shurson G. & Irvin K. 1992. Effects of genetic line and supplemental dietary fat on lactation performance of Duroc and Landrace sows. *Journal of animal science*. 70(10), 2942-2949. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4049>.
120. Spencer J., Boyd R., Cabrera R., Allee G. 2003. Early weaning to reduce tissue mobilization in lactating sows and milk supplementation to enhance pig weaning weight during extreme heat stress. *Journal of Animal Science*. 81(8). 2041-2052. doi.org/10.2527/2003.8182041x.
121. Steinert R., Feinle-Bisset C., Geary N., Beglinger C. 2013. Digestive physiology of the pig symposium: secretion of gastrointestinal hormones and eating control. *Journal of animal science*. 91(5), 1963-1973. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-6022>
122. Sterning M., Rydhmer L., Eliasson L., Einarsson S., Andersson K. 1990. A study on primiparous sows of the ability to show standing oestrus and to ovulate after weaning. Influences of loss of body weight and backfat during lactation and of litter size, litter weight gain and season. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 31(2). 227-236. doi.org/10.1186/BF03547566.

123. Szűcs I. & Vida V. 2017. Global tendencies in pork meat-production, trade and consumption. *Applied Studies in Agribusiness and Commerce*. 11(3-4). 105-111. doi.org/10.19041/APSTRACT/2017/3-4/15.
124. Tast A., Peltoniemi O., Virolainen J., Love R. 2002. Early disruption of pregnancy as a manifestation of seasonal infertility in pigs. *Animal Reproduction Science*. 74(1-2). 75-86. doi.org/10.1016/S0378-4320(02)00167-7.
125. Thaker M. & Bilkei G. 2005. Lactation weight loss influences subsequent reproductive performance of sows. *Animal Reproduction Science*. 88(3-4). 309-318. doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.10.001.
126. Thng A., Ting J., Tay H., Soh C., Ong H., Tey, D. 2020. The use of predicted apparent metabolizable energy values to understand the oil and fat variability in broilers. *Online Journal of Animal and Feed Research*. 10(4). 150-157. doi.org/10.51227/ojafir.2020.21.
127. Thomas M., Van Vliet T., Van der Poel A. 1998. Physical quality of pelleted animal feed 3. Contribution of feedstuff components. *Animal Feed Science and Technology*. 70(1-2). 59-78. doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00072-2.
128. Tilton S., Miller P., Lewis A., Reese D., Ermer P. 1999a. Addition of fat to the diets of lactating sows: II. Effects on hormone-sensitive lipase activity, energy mobilization in response to epinephrine, and plasma insulin and glucose concentrations. *Journal of Animal Science*. 77(9). 2501-2509. doi.org/10.2527/1999.7792501x.
129. Tilton S., Miller P., Lewis A., Reese D., Ermer P. 1999b. Addition of fat to the diets of lactating sows: I. Effects on milk production and composition and carcass composition of the litter at weaning. *Journal of Animal Science*. 77(9). 2491-2500. doi.org/10.2527/1999.7792491x.
130. Tokach M., Pettigrew J., Dial G., Wheaton J., Crooker B., Johnston, L. 1992. Characterization of luteinizing hormone secretion in the primiparous, lactating sow: relationship to blood metabolites and return-to-estrus interval. *Journal of Animal Science*. 70(7). 2195-2201. doi.org/10.2527/1992.7072195x.
131. Urriola P., Cervantes-Pahm S., Stein H. 2013. Fiber in swine nutrition. Sustainable swine nutrition. Wiley-Blackwell. Ames, IA. Pp. 255-276. ISBN:9780813805344.
132. Valros A., Rundgren M., Špinka M., Saloniemi H., Rydhmer L., Hulten F., Uvna's-Moberg K., Tomanek M., Krejčí P., Algers, B. 2003. Metabolic state of the sow, nursing behaviour

- and milk production. *Livestock Production Science*. 79(2-3). 155-167. doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00154-9.
133. Van den Brand H., Dieleman S., Soede N., Kemp B. 2000. Dietary energy source at two feeding levels during lactation of primiparous sows: I. Effects on glucose, insulin, and luteinizing hormone and on follicle development, weaning-to-estrus interval, and ovulation rate. *Journal of Animal Science*. 78(2). 396-404. doi.org/10.2527/2000.782396x.
134. Van den Brand H., Prunier A., Soede N., Kemp B. 2001. In primiparous sows, plasma insulin-like growth Factor-I can be affected by lactational feed intake and dietary energy source and is associated with luteinizing hormone. *Reproduction Nutrition Development*. 41(1). 27-39. doi.org/10.1051/rnd:2001109.
135. Van den Brand H., Soede N., Kemp B. 2000. Dietary energy source at two feeding levels during lactation of primiparous sows: II. Effects on periestrus hormone profiles and embryonal survival. *Journal of Animal Science*. 78(2). 405-411. doi.org/10.2527/2000.782405x.
136. Van den Brand H. & Kemp B. 2006. Dietary fat and reproduction in the post-partum sow. *Reproduction-Cambridge-Supplement*. 62. 177. PMID: 16866317.
137. Varona E., Tres A., Rafecas M., Vichi S., Barroeta A., Guardiola F. 2021. Composition and nutritional value of acid oils and fatty acid distillates used in animal feeding. *Animals*. 11(1). 196. doi.org/10.3390/ani11010196.
138. Voet D., Voet J., Prat C. 2016. *Fundamentals of biochemistry: life at the molecular level*. John Wiley & Sons. ISBN 978-1-118-91840-1.
139. Wang L., Zhang S., Johnston L., Levesque C., Yin J., Dong B. 2022. A systematic review and meta-analysis of dietary fat effects on reproductive performance of sows and growth performance of piglets. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 13(1). 12. doi.org/10.1186/s40104-021-00662-3.
140. Wang Y., Wang J., Wang X. 2020. COVID-19, supply chain disruption and China's hog market: A dynamic analysis. *China Agricultural Economic Review*. 12(3). 427-443. doi.org/10.1108/CAER-04-2020-0053.
141. Watanabe S., Lee K., Chang T., Berger-Ornstein L., Chey W. 1988. Role of pancreatic enzymes on release of cholecystokinin-pancreozymin in response to fat. *American Journal*

- of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology. 254(6). G837-G842. doi.org/10.1152/ajpgi.1988.254.6.G837.
142. Wealleans A., Bierinckx K., di Benedetto M. 2021b. Fats and oils in pig nutrition: Factors affecting digestion and utilization. *Animal Feed Science and Technology*. 277. 114950. doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114950.
143. Wealleans A., Bierinckx K., Witters E., di Benedetto M., Wiseman J. 2021a. Assessment of the quality, oxidative status and dietary energy value of lipids used in non-ruminant animal nutrition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 101(10). 4266-4277. doi.org/10.1002/jsfa.11066.
144. Wegner K., Lambert 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. doi.org/10.1111/asj.12569.
145. Wilfart A., Montagne L., Simmins H., Noblet J., Van Milgen J. 2007. Effect of fiber content in the diet on the mean retention time in different segments of the digestive tract in growing pigs. *Livestock Science*. 109(1-3). 27-29. doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.032.
146. Williams A., Safranski T., Spiers D., Eichen P., Coat E., Lucy M. 2013. Effects of a controlled heat stress during late gestation, lactation, and after weaning on thermoregulation, metabolism, and reproduction of primiparous sows. *Journal of Animal Science*. 91(6). 2700-2714. doi.org/10.2527/jas.2012-6055.
147. Whittemore C. 1996. Nutrition reproduction interactions in primiparous sows. *Livestock Production Science*. 46(2), 65-83. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.02.019
148. Xu M., Che L., Yang Z., Zhang P., Shi J., Li J., Xu S. 2016. Effect of high fat dietary intake during maternal gestation on offspring ovarian health in a pig model. *Nutrients*. 8(8). 498. doi.org/10.3390/nu8080498.
149. Yan L., Zhang B., Shen Z. 2014. Dietary modulation of the expression of genes involved in short-chain fatty acid absorption in the rumen epithelium is related to short-chain fatty acid concentration and pH in the rumen of goats. *Journal of Dairy Science*. 97(9). 5668-5675. doi.org/10.3168/jds.2013-7807.
150. Yu W. & Jensen J. 2022. Sustainability implications of rising global pork demand. *Animal Frontiers*. 12(6). 56-60. doi.org/10.1093/af/vfac070.

151. Yu X., Liu C., Wang H., Feil J. 2020. The impact of COVID-19 on food prices in China: Evidence of four major food products from Beijing, Shandong and Hubei Provinces. *China Agricultural Economic Review*. 12(3). 445–458. doi.org/10.1108/CAER-04-2020-0054.
152. Zhang Y., Yin Y., Fang J., Wang Q. 2012. Pig production in subtropical agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 92(5). 1016-1024. doi.org/10.1002/jsfa.4679.
153. Zou T., Yu B., Yu J., Mao X., Zheng P., He J., Huang Z., Liu Y., Chen D. 2016. Moderately decreased maternal dietary energy intake during pregnancy reduces fetal skeletal muscle mitochondrial biogenesis in the pigs. *Genes & nutrition*. 11(1). 1-10. doi.org/10.1186/s12263-016-0535-1.

CAPÍTULO VII  
ANEXO

### Publicaciones derivadas de la tesis

1. Rivas F., González M., Matiller V., Williams S. 2024. Efecto de los lípidos de la dieta sobre parámetros séricos y desempeño productivo y reproductivo en cerdas multíparas. FAVE Sección Ciencias Veterinarias. 23. doi.org/10.14409/favecv.2024.23.e0029.
2. Rivas F., González M., Matiller V., Williams S. 2020. Inclusión de grasa en dietas de cerdas primíparas: efecto sobre la cerda y la performance de la camada. Rev. Vet. 31:1, 61-65. DOI: doi.org/10.30972/vet.3114633.
3. Rivas F., González M., Matiller V., Williams S. Efecto de la inclusión de grasa en parámetros reproductivos y reproductivos de cerdas en sistema confinado. En actas de las XXI Jornadas de Actualización Porcina. 1a ed. - Río Cuarto: UniRío Editora, 2022. ISBN 978-987-688-505-8.
4. Rivas F., González M., Matiller V., Williams S. Efecto de la inclusión de grasa sobre la performance de cerdas primíparas y sus camadas en un sistema a campo. 43° Congreso Argentino de Producción Animal. 25 al 27 de noviembre de 2020.