



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA
PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

“EFECTO DEL CONSUMO DE UNA DIETA ALTA EN FIBRA EN CERDAS
SOBRE EL USO DE NUTRIENTES EN DIFERENTES PERIODOS DE LA
GESTACION”

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS

P R E S E N T A

Marco Antonio Islas Robles

TUTOR

Dr. Sergio Gómez Rosales

COMITÉ TUTORAL

Dr. José Antonio Cuarón Ibarquengoytia

Dr. José Luis Dávalos Flores



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mis padres (Antonio y Judith) y hermanos (Eduardo y Karina) que siempre han estado a mi lado, han creído en mí, me han brindado su apoyo incondicional en todo momento y sobre todo y más importante, su amor.

Muchas gracias y que Dios los Bendiga

AGRADECIMIENTOS

Dr. Sergio Gómez por haberme dado la oportunidad de realizar este posgrado y haberme brindado su confianza

Dr. José Antonio Cuarón y Dr. Diego Braña, por haberme brindado parte de su tiempo, paciencia, apoyo, amistad y confianza durante mis estudios de posgrado más allá del deber

Dr. José Luis Dávalos, Dr. Gerardo Mariscal, Dra. Tercia C. Reis de Sousa, Dr. Mariano J. González y al Maestro en Producción Animal Marco Antonio Herradora por la asesoría brindada para la realización de este trabajo

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM por brindarme el apoyo económico y darme la oportunidad de ser parte de sus alumnos del programa de Maestría en Ciencias

M en C De Lourdes Ángeles María por su amistad, apoyo y consejos durante mi estancia en el CENIDFyMA

Al personal de Laboratorio y Granja del CENIDFyMA: Ericka, Yessy, Felipe, Toño, Mario, Vicente, Miguel, Fredy, Emiliano, Toñazo y Domingo por brindarme su amistad, ayuda y hacer más ameno el trabajo

En especial a mis Amigos: Isaac Herrero, Gaby Vázquez, Don José, Alejandra Pérez, Israel Trejo y Vladimir Luna, por haber estado siempre en los momentos más difíciles de mi estancia en Ajuchitlán ayudándome, haciéndome reír, pero sobretodo por formar parte de mi segunda familia estando lejos de casa

Solo una cosa convierte imposible un sueño: el miedo a fracasar

CONTENIDO

1 INTRODUCCION	1
2 REVISION DE LITERATURA	2
2.1 Manejo y alimentación de la cerda gestante	2
2.2 Uso de ingredientes fibrosos en cerdos	6
2.3 Efecto de la fibra sobre la fisiología digestiva del cerdo	8
2.4 Fibra dietética y procesos de digestión	10
2.5 Efectos de la fibra dietética sobre el crecimiento intestinal, proliferación y morfología celular en cerdos	13
2.6 Efectos metabólicos de la fibra dietética	15
2.7 Efectos de la fibra dietética sobre el bienestar animal	18
2.8 Efectos de la fibra dietética sobre el tamaño de camada y cambios hormonales	21
2.9 Efectos de la fibra dietética sobre el consumo de alimento durante la lactación	25
2.10 Uso de rastrojo de maíz (RM) en cerdas gestantes	27
3 HIPOTESIS	30
4 OBJETIVOS	30
5 MATERIAL Y METODOS	31
5.1 Elaboración de dietas experimentales	31
5.2 Animales, diseño experimental y dietas	32
5.3 Metodología de alimentación	34
5.4 Mediciones	35
5.5 Cálculos de consumo de nutrientes, E, digestibilidad y ED	37
5.6 Análisis estadístico	38
6 RESULTADOS	39
6.1 Características del consumo de alimento de cerdas alimentadas a libertad	39

6.2 Desempeño productivo de la cerda durante la lactancia	44
6.3 Desempeño productivo de la camada durante la lactación	46
6.4 Comportamiento de la digestibilidad en los últimos 2 tercios de la gestación	47
7 DISCUSION	54
7.1 Características del consumo de alimento de cerdas alimentadas a libertad	54
7.2 Desempeño productivo de la cerda durante la lactancia	58
7.3 Desempeño productivo de la camada durante la lactación	62
7.4 Comportamiento de la digestibilidad en los últimos 2 tercios de la gestación	65
8 CONCLUSIONES	70
9 REVISION DE LITERATURA	71

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición de las dietas.	33
Cuadro 2. Efecto del consumo de una dieta RM durante los dos últimos tercios de la gestación sobre el consumo de alimento, ganancia de peso y profundidad de músculo y grasa.	40
Cuadro 3. Diferencias en el consumo estimado de almidón y azúcares solubles durante los dos últimos tercios de la gestación.	41
Cuadro 4. Efecto del consumo de una dieta con 30% de rastrojo de maíz en la gestación sobre el consumo de alimento y cambios corporales en lactación.	45
Cuadro 5. Resultados del consumo de una dieta control y RM en la gestación sobre el desempeño productivo de la cerda en lactación y retorno al estro.	46
Cuadro 6. Contenido analizado de materia seca, energía, nitrógeno, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido de las dietas usadas.	48
Cuadro 7. Resultados de la interacción del tratamiento y período sobre la digestibilidad parcial de la materia seca, energía, nitrógeno, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido.	49
Cuadro 8. Resultados de la interacción del tratamiento y período sobre la materia seca, energía, nitrógeno, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido consumida, digerida y excretada.	50
Cuadro 9. Efectos principales del tratamiento y período sobre la digestibilidad parcial de la materia seca, energía, nitrógeno, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido.	52
Cuadro 10. Efectos principales del tratamiento y período sobre el consumo, digestión y excreción de materia seca, energía, nitrógeno, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido.	53
Cuadro 11. Efecto del uso de distintos niveles de fibra en gestación sobre las variables productivas y reproductivas en lactancia.	64

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Patrón del consumo de alimento promedio del control (línea amarilla), el consumo esperado (línea roja) y el consumo observado (puntos azules) con la dieta RM. 43
- Figura 2.** Comportamiento del consumo semanal de las dietas control y RM durante los dos últimos tercios de gestación. 44
- Figura 3.** Resultados de la interacción entre el tratamiento y el período sobre la cantidad de MS consumida y digerida. 48

RESUMEN.

El objetivo de este experimento fue analizar los patrones del consumo de alimento durante los últimos dos tercios de la gestación ofreciendo una dieta con 30% de rastrojo de maíz (RM), a su vez, calcular el efecto del RM sobre la digestibilidad de energía (E), nitrógeno (N), fibra detergente ácido (FDA) y fibra detergente neutra (FDN) y evaluar las variables que describen la productividad de las cerdas, el comportamiento del consumo durante la lactancia y el tiempo de retorno al estro. Se usaron 96 cerdas en gestación entre 1 y 6 partos previos, agrupadas en 7 bloques (por grupos de producción). Los tratamientos, Control y RM, fueron asignados al azar, tomando en cuenta el peso de las cerdas y el número de partos. El tratamiento Control, se ofreció de manera restringida durante todo el periodo de la gestación en dos comidas al día, mientras que la dieta con RM, también se ofrecieron dos comidas pero a saciedad, admitiendo rechazos mínimos del 10% a fin de asegurar el consumo a libertad. Los períodos en que se midió la digestibilidad fueron 3, todos por 7 días de colección: al día 56 de gestación (luego de 21d de haber iniciado con la dieta con RM), d77 y 98 de gestación. Las cerdas fueron pesadas al día 42 y 109 de gestación y al destete (día 21). Una vez que las cerdas parieron, el número de lechones por camada se ajustó a un mínimo de 10, dentro de las primeras 48 horas posparto, haciendo las adopciones necesarias y se analizaron las variables que describen la productividad de la cerda. El hecho de ofrecer la dieta con 30 % de RM, no limitó el consumo voluntario de alimento, que llegó a ser de 3.94 kg/d pero, por su baja digestibilidad (62 %), se tuvo finalmente un consumo aceptable de ED (8 Mcal/d), el cual se mantuvo dentro de los requerimientos de estas cerdas en gestación y no provocó que hubieran excesos en el consumo de E que repercutieran a la productividad de la cerda. Tampoco se vio afectado el consumo de alimento durante la lactancia (5 kg en promedio) ni los días de retorno al estro (5.25). Independientemente del periodo, la digestibilidad de la dieta CONTROL fue mayor que con RM ($P < 0.017$). Consecuentemente, el RM es un recurso efectivo para regular la ingesta de energía de las cerdas en gestación, sin alterar el aprovechamiento del resto de los ingredientes de la dieta.

ABSTRACT

The objective of this experiment was to study the patterns of feed intake during the last two thirds of gestation offering a diet with 30% corn stover (RM), in turn, calculate the effect of RM on digestibility of energy (E), nitrogen (N), acid detergent fiber (ADF) and neutral detergent fiber (NDF) and evaluate the variables that describe the productivity of sows, consumption behavior during lactation and time of return to estrus. Ninety six sows in gestation were assigned randomly to 1 of 2 experimental diets grouped into seven blocks (production groups). Control treatment was offered restricted manner during the entire period of gestation in two meals a day, whereas the RM diet also offered two meals satiety but admitting minimum of 10% rejection to ensure consumption to freedom. The periods measured digestibilities were 3, all for seven days of collection: at day 56 of gestation (21d after having started the diet with RM), D77 and 98 of gestation. Sows were weighed at day 42 and 109 of gestation and at weaning (day 21). Once sows farrowed, number of piglets per litter was adjusted to a minimum of 10, within the first 48 hours after birth, making necessary adoptions and analyzed the variables that describe the productivity of the sow. By offering the diet with 30% of RM, not limited voluntary feed intake, which became of 3.94 kg / d but because of its low digestibility (62%), digestible energy intake was acceptable (8 Mcal/d), which remained within the requirements of these gestating sows and that would not provoke excesses in energy consumption to have an impact on the productivity of the sow. Nor was affected feed intake during lactation (5 kg on average) and the days of return to estrus (5.25). Regardless of the period, the digestibility of the control diet was greater than with RM ($P < 0.017$). Consequently, RM is an effective remedy to regulate energy intake of sows in gestation, without altering the utilization of other dietary ingredients.

1 INTRODUCCION

Actualmente en los sistemas de alimentación para cerdas gestantes, es una práctica común restringir la cantidad de nutrientes ofrecidos, principalmente la energía, debido a que sí se excede la cantidad necesaria para cubrir el mantenimiento de la cerda durante esta etapa, se provoca una excesiva ganancia de peso, con repercusiones negativas, tanto productivas como reproductivas, afectando directamente la permanencia de la cerda en la pira (Dourmad *et al.*, 1996). El uso de alimentación restringida durante la gestación provoca en las cerdas períodos prolongados de ayuno, ansiedad y estrés (Holt *et al.*, 2006); el nivel usual de restricción alimenticia durante la gestación puede representar entre un 50 y 60 % del consumo voluntario de alimento que podría tener una cerda dependiendo de su tamaño (Mejía *et al.*, 2007). Como contraste a lo anterior, en la cerda lactante el alimento se ofrece a libre acceso y a pesar de esto, el consumo voluntario de alimento, generalmente es insuficiente para cubrir las demandas nutricionales para la producción de leche y mantenimiento de la condición corporal (Weldon *et al.*, 1994; Quesnel *et al.*, 2009).

Para evitar el problema de sobrealimentación de las cerdas durante el período de gestación, los sistemas actuales de alimentación consideran la incorporación de ingredientes fibrosos con el fin de reducir la tasa de vaciado gástrico, prolongar el tiempo de saciedad, reducir el período de hambre y el estrés asociado (Bach *et al.*, 2001). Generalmente, los alimentos fibrosos tienen una baja densidad energética comparada con los granos de cereales, lo que resulta en una dilución de la energía cuando la fibra es incluida en la dieta; dado que la densidad energética de los ingredientes fibrosos es menor, es posible aumentar el volumen y la cantidad de alimento ofrecido, lo cual incrementa el tiempo de consumo del alimento, provocando que la ingesta se pueda diferir a más de una comida por servida.

Por otra parte, las actividades agropecuarias dan origen a una serie muy amplia de esquilmos agrícolas, los cuales en la mayoría de los casos no son

aprovechados. El cultivo de maíz es el que contribuye con mayor cantidad de material, además de que existe un volumen importante de pajas de sorgo, trigo, frijol, arroz, cebada, soya, cáscara de algodón y subproductos de la industria azucarera como puntas de caña y bagazos (Márquez *et al.*, 2008). La amplia disponibilidad de esquilmos agrícolas poco aprovechados en el país, el constante incremento del precio de los granos y la creciente necesidad de alimentos, aunado a las fluctuaciones de los costos de producción en las granjas porcinas, conducen a optimizar el uso de estos recursos, buscando mejorar su utilización aprovechándolos en la producción animal (Gonzales *et al.*, 2008; Mora, 2008). Las presiones en la industria porcícola por reducir los costos de producción y la competencia por las fuentes de alimento han promovido el uso de subproductos ricos en fibra de manera más extensa en años recientes (Noblet y Le Goff, 2001). El diseño de programas de alimentación en cerdos, que incluyan ingredientes altos en fibra debe estar dirigido a etapas fisiológicas en las que no se afecte la productividad de los animales, como es el caso de las cerdas gestantes. Es por eso que es importante conocer la composición de la fibra dietética y sus efectos en la digestibilidad de nutrientes para poder incluir apropiadamente estos ingredientes en las dietas.

2 REVISION DE LITERATURA

2.1 Manejo de alimentación de la cerda gestante

Los objetivos de los programas de alimentación durante la gestación son, que la cerda conserve un estado nutricional adecuado, que obtenga los nutrientes necesarios para asegurar la supervivencia y el desarrollo prenatal adecuado de los lechones así como el crecimiento de los tejidos maternos asociados a la preñez (útero, glándula mamaria y reservas corporales) y con ello lograr que la cerda tenga el mayor número de lechones nacidos vivos al parto y que consuma la mayor cantidad de alimento posible durante la lactación (Noblet *et al.*, 1997; NRC,

1998). Para poder lograr esto, lo primero que se tiene que considerar, es que se cubran sus requerimientos nutricionales, los cuales varían de acuerdo a la edad, al número de partos (nulíparas y múltiparas) y la fase de gestación que se trate (primero, segundo o tercer tercio).

Según el NRC (1998), el requerimiento de energía digestible (ED) ó metabolizable (EM) de mantenimiento, incluye las necesidades de todas las funciones corporales y actividad moderada. Esos requerimientos generalmente son expresados sobre una base de peso metabólico ($PV^{0.75}$). Durante la gestación, entre un 60 a 80 % del total de la energía es usada para mantenimiento. El NRC (1998), concluye que el requerimiento para mantenimiento de cerdas gestantes se encuentra en 106 Kcal de EM ó 110 Kcal de ED/kg de $PV^{0.75}$ /día. Los requerimientos de las cerdas gestantes varían por su peso corporal, la ganancia de peso esperada durante la preñez de la cerda, por el número esperado de lechones nacidos y por otros manejos y parámetros medio ambientales. La ganancia de peso durante la gestación, es la suma de la deposición de grasa, proteína materna y la ganancia de peso de los productos de la concepción. Las cerdas deben ser alimentadas y manejadas para tener una ganancia materna de 25 kg a través de la preñez para cerdas menores de tres o cuatro partos. El peso de la placenta y otros productos de la concepción es aproximadamente de 20 kg, para un total de 45 kg de ganancia gestacional de la cerda (Vestergren *et al.*, 1987; Noblet *et al.*, 1990). Para los productos de la concepción y tejidos reproductivos relacionados con ellos, se ha estimado un requerimiento de 1150 Kcal de ED/kg de lechón al parto. Finalmente para la ganancia materna o la reposición de aquellos tejidos utilizados para la producción de nutrientes mediante el catabolismo durante la lactancia previa, el requerimiento se ha estimado en 5000 Kcal de ED/kg de peso que se estima de ganancia durante el período de gestación (Close *et al.*, 1985). Por lo que para una cerda de 200 kg, a la que se calcule una ganancia de peso de 45 kg y 12 lechones nacidos (con un promedio de peso de 1.5 kg por lechón), sus

requerimientos diarios de energía representarían 8 Mcal de ED (aproximadamente 7.68 Mcal de EM). Lo anterior se muestra en los cálculos siguientes:

Peso de la cerda 200 kg; $200^{0.75} = 53.18$ kg de peso metabólico

$53.18 \times 110 = 5850.12$ kcal de ED/día

$45 \times 5000 = 225000/114$ d de gestación = 1973.68 kcal ED/día

12×1.5 kg = 18×1150 kcal = $20700/114$ d de gestación = 181.58 kcal de ED/d

Por lo que los requerimientos diarios de energía digestible de la cerda utilizada en el ejemplo serían de:

$5850.12 + 1973.68 + 181.58 = 8005.38$ kcal de ED/día (o bien 7685.16 kcal de EM/d)

Durante la gestación es común exceder el aporte de nutrientes (principalmente energía), debido a que la capacidad de ingestión voluntaria de la cerda es entre cuatro a seis kg de alimento por día. Un factor que contribuye al problema anterior es que en la mayoría de las granjas no se pesa el alimento servido, sino que se usa una cuchara o algún otro utensilio como medida, lo que impide regular con precisión la cantidad de alimento depositado en el comedero (Mejía *et al.*, 2007).

La sobrealimentación de la cerda durante la gestación, puede provocar diversos problemas, sobre todo al inicio y al final de esta. Durante los primeros días de gestación, una sobrealimentación en la cerda gestante, puede provocar un incremento en la degradación de progesterona, la cual es una hormona esteroide que frena los cambios relacionados a la proliferación del endometrio inducidos por los estrógenos, estimula los cambios madurativos que preparan al endometrio para la implantación del embrión y además juega un papel fundamental en el mantenimiento de la gestación. La sobrealimentación provoca que el flujo sanguíneo se incremente hasta un 45 % en la vena porta, al mismo tiempo se aumenta el catabolismo de progesterona en un 45 % a nivel hepático (Mejía *et al.*,

2007), por lo tanto, cuando la cerda mantiene un nivel de alimentación elevado durante el inicio de la gestación, disminuye la viabilidad de sus embriones a diferencia de cerdas que son sometidas a una restricción alimenticia en ese mismo período (Jindal *et al.*, 1997).

Una sobrealimentación de la cerda durante toda la gestación puede limitar el desarrollo de las glándulas mamarias, al estar ocupado el espacio físico por depósitos de grasa; además aumenta el riesgo de que se presenten distocias y problemas locomotores, que pueden provocar la eliminación prematura de la cerda o el incremento del número de lechones nacidos muertos (Dourmad *et al.*, 1996).

Aunado a lo anterior, cuando las cerdas consumen niveles excesivos de energía durante la gestación, existen repercusiones negativas sobre el consumo voluntario de alimento de las cerdas durante la lactación (Weldon *et al.*, 1994). El consumo de alimento de las cerdas durante la lactancia generalmente es insuficiente para cubrir las demandas de mantenimiento del peso corporal y maximizar la producción de leche (Noblet *et al.*, 1990). Esta insuficiencia de nutrientes resulta en excesivas pérdidas de peso y varios problemas reproductivos comunes incluyendo un incremento del intervalo destete-estro y una reducción en el número de lechones nacidos en la siguiente camada (Reese *et al.*, 1982). Los inadecuados consumos de alimento durante la lactancia, son evidentes particularmente en cerdas primíparas, cerdas alimentadas excesivamente durante la gestación y cerdas en un medio ambiente caluroso (NRC, 1998).

Cuando a las cerdas se les restringe la cantidad de nutrientes (principalmente energía) durante la gestación y la dieta ofrecida solo cubre sus requerimientos de mantenimiento. En la lactancia temprana, pueden llegar a incrementar las concentraciones de insulina sanguínea, lo que hace que se incremente el transporte de glucosa dentro de los tejidos periféricos, causando un aumento en el consumo de alimento para mantener la concentración de glucosa en sangre (Houp y Houp, 1991). La insulina disminuye la lipólisis, incrementa la lipogénesis (Hadley,

1988), y reduce la actividad de la carnitina palmitoiltransferasa I, y puede reducir la oxidación de ácidos grasos libres (NEFA, por sus siglas en inglés) para la producción de energía (Gamble y Cook, 1985). Durante la lactación, si el consumo de alimento es deficiente, la utilización de glucosa en sangre disminuye (Collier, 1985), provocando que los NEFA se vuelvan la fuente más importante de energía para tejidos periféricos. Al incrementar la liberación de insulina, puede aumentar el consumo de alimento por la reducción en la disponibilidad de substratos que producen energía, por su acción en el tejido adiposo y por la entrada de NEFA dentro de la mitocondria para su uso como energía. Cuando el consumo de energía es excesivo en la gestación, las cerdas reducen su consumo en la lactancia ya que afecta los factores relacionados al control del hambre. Se sugiere que esta reducción en el consumo de alimento se debe a las bajas concentraciones de insulina en plasma durante la lactación temprana, lo que puede limitar la utilización de la glucosa y por consiguiente sus concentraciones en plasma pueden ser mantenidas sin consumos de alimento adicionales. Por otra parte, una baja concentración de insulina puede provocar una gran liberación de NEFA provenientes de tejido adiposo. Ambos disminuyen la utilización de la glucosa e incrementan la liberación de NEFA, pudiendo incrementar la cantidad de substrato disponible para la oxidación y habría, por consiguiente, reducción del consumo de alimento en esta etapa (Weldon *et al.*, 1994a). Esta insensibilidad o resistencia a insulina, es causada probablemente por la afectación del número de receptores a insulina o su afinidad (Weldon *et al.*, 1994b).

2.2 Uso de ingredientes fibrosos en cerdas

La restricción alimenticia a la que son sometidas las cerdas durante el período de gestación, causa cierto grado de estrés, ya que si bien sus necesidades de nutrientes son satisfechas por la concentración de nutrientes en la dieta, las cerdas manifiestan hambre y frustración, ya que la capacidad física del aparato digestivo no es satisfecha. Si a esto se le agrega el confinamiento y restricción de

movimientos, es normal que algunos individuos desarrollen estereotipos (Meunier-Salaün, 2001).

Se ha demostrado que la incorporación de ingredientes fibrosos, ajustando el nivel energético de la dieta de gestación incrementa el consumo voluntario durante la lactación (Quesnel *et al.*, 2009). También se reduce la tasa de vaciado gástrico, lo cual puede ser una ventaja en el bienestar ya que prolonga el tiempo de saciedad, por lo tanto, reduce el período de hambre (Bach, 2001).

En general, los alimentos fibrosos tienen una baja densidad energética comparada con los granos de cereales usados como fuente de energía en la formulación de dietas, resultando en una dilución de energía cuando la fibra es incluida en la formulación; a su vez se incrementa el volumen de la dieta lo que incrementa en el tiempo de consumo de alimento. Del mismo modo incrementa la actividad masticatoria la cual es acompañada de un incremento proporcional de secreciones salivares y gástricas que resultan con reducción de úlceras gástricas y gastroenteritis.

Esto significa que una dieta con una alta cantidad de fibra provoca una saciedad temprana del animal debido a señales gástricas causadas por la elongación de las paredes estomacales provocada por el volumen de la fibra, a diferencia de una dieta con una baja cantidad de fibra (Langhans, 1999). Esta saciedad temprana es de particular importancia en cerdas gestantes; en cambio en cerdos en crecimiento-finalización, es preferible ofrecer una dieta baja en fibra, dando como resultado un consumo máximo de nutrientes disponibles y energía. Cuando un animal tiene una saciedad física y nutricional, reduce su estrés y por consiguiente la actividad física puede disminuir también (Rijnen *et al.*, 1999).

Por otra parte, la inclusión de niveles de fibra altos en la dieta, disminuye la digestibilidad de nutrientes (Noblet y Le Goff, 2001), la cual está influenciada por varios factores como: la composición de la fibra, el procesado de ésta post cosecha, y el estado fisiológico del animal (Mc Dougall *et al.*, 1996; Ramonet *et al.*

1999); Sin embargo, la capacidad para digerir dietas con alto contenido de fibra se incrementa con la edad y el peso corporal de los animales (Noblet y Le Goff, 2001). En general, los efectos fisiológicos de la fibra incluyen repercusiones en el vaciado gástrico, tasa de tránsito de la digesta, motilidad del tracto, secreciones digestivas, absorción de nutrientes específicos y en una hipertrofia del tracto gastrointestinal (Pond, 1987).

Es importante conocer la composición de la fibra dietética y sus efectos en la digestibilidad de nutrientes para poder incluir apropiadamente estos ingredientes en las dietas. Los mecanismos subyacentes asociados al incremento del consumo de alimento de lactación debido al uso de dietas altas en fibra durante la gestación, todavía no están del todo claros. Quizás, manipulando la capacidad digestiva y las estrategias de alimentación se podrían explicar estos efectos, aunque se debe tomar en cuenta que el consumo durante la lactación también está influenciado por factores fisiológicos como la resistencia a la insulina (Weldon *et al.*, 1994a).

2.3 Efecto de la fibra sobre la fisiología digestiva del cerdo

El tracto digestivo del cerdo puede ser dividido en 3 diferentes compartimientos: el estómago, el intestino delgado y el intestino grueso. El estómago representa cerca del 30 % del volumen total del tracto digestivo. Es en esta parte donde la digestión inicia con una disminución del pH debido a la secreción de ácido clorhídrico. Un poco de actividad microbiana puede ocurrir en la parte superior del estómago, pero únicamente si el cerdo consume una gran cantidad de alimento. El intestino delgado del cerdo es largo, comparado con otros animales, y permite una intensa digestión endógena a un pH casi neutro. En el íleon bajo y especialmente en el ciego e intestino grueso, se lleva a cabo una intensa degradación microbiana (Weenk, 2001). En cerdos, la mayoría de los nutrientes disponibles (proteínas, carbohidratos, grasas, minerales y vitaminas) son absorbidos en el intestino delgado. En el intestino grueso, los componentes indigestibles de la dieta

(principalmente fibra dietética, lípidos con un alto punto de fusión y proteínas insolubles) y secreciones endógenas son fermentadas por microorganismos. En esta parte, únicamente ácidos grasos de cadena corta (SCFA) y algunas vitaminas pueden ser absorbidos y contribuir al aporte de nutrientes del animal.

El crecimiento microbiano y su producción metabólica dependen de varias condiciones. La temperatura corporal ofrece condiciones óptimas. También depende de la presencia de sustratos que puedan ser metabolizados. Los sustratos que pueden ser disponibles dependen del número de comidas y la composición así como la estructura y tratamiento tecnológico de las dietas. Esos factores influyen particularmente la digestión en la parte superior del TGI. Los procesos de digestión endógena (con la secreción de enzimas), el cambio de pH en el estómago y la tasa de pasaje de la digesta son factores que pueden limitar los procesos microbianos en diferentes partes del TGI (Weenk, 2001).

Cuando se administran dietas con un bajo contenido de fibra, se observa la mayor actividad microbiana al final del intestino delgado. Los microorganismos sintetizan ácidos grasos de cadena corta (SCFA) de los nutrientes que no fueron absorbidos en el intestino delgado. Estos ácidos pueden ser subsecuentemente absorbidos y metabolizados a nivel de intestino grueso. De acuerdo con los experimentos de Müller y Kirchgessner (1985), los animales pueden fermentar hasta dos tercios de materia orgánica. De la misma forma que se encuentran SCFA, también se puede encontrar otros productos del metabolismo microbiano (como NH_3 , CH_4 , H_2O). Algunos de ellos pueden ser absorbidos, pero no son utilizados en el metabolismo intermediario. En el cerdo, la mayoría de los nutrientes que son incorporados en los microorganismos, son excretados en las heces. Esto incluye a la proteína microbiana.

2.4 Fibra dietética y los procesos de digestión

Usualmente un incremento del contenido de fibra en la dieta es directamente relacionado a la cantidad disponible de nutrientes y energía. Una dieta con un alto contenido de fibra soluble (FS) puede causar una mayor retención de agua en el estómago que una dieta baja en fibra o con fibra insoluble (FI) debido a que estas fibras contienen fracciones solubles de β -glucanos y arabinosilanos las cuales tienden a producir geles y por lo tanto aumentan la viscosidad de la ingesta. Una gran cantidad de FS en la dieta causa un incremento en el volumen de la digesta en el estómago, reduce el tiempo de tránsito de la digesta en este órgano y proporciona una sensación de saciedad, además de incrementar la viscosidad de la digesta y estabilizar el pH a un nivel más bajo, mejorando la eficiencia de digestión y absorción, promoviendo saciedad y reduciendo la sensación de hambre (Davidson y Mc Donald, 1998). El efecto de la fibra insoluble (FI) sobre el vaciado gástrico, no está claro (Anderson, 1985). Esto puede deberse al hecho de que la FI como la celulosa, adopta un orden estructural regular, que fortalece los enlaces no covalentes. Fortaleciendo estos enlaces, se estabiliza el orden de su conformación lo que hace imposible solubilizar esta fracción de fibra (Bach, 2001).

La fibra dietética influye sobre la morfología intestinal así como la tasa de recambio celular, lo cual puede afectar la digestión, absorción y metabolismo de nutrientes. Dietas con un alto contenido de fibra causan un incremento en la secreción de fluidos endógenos, lo que resulta en un incremento de tamaño de los órganos. Jorgensen *et al.* (1996) reportaron un aumento significativo de peso en el estómago (7.27 vs 5.74 g/kg de peso corporal), ciego (2.83 vs 1.64 g/kg de peso corporal) y colon (17.23 vs 8.70 g/kg de peso corporal) en cerdos en crecimiento-finalización de 45 a 120 kg alimentados con una dieta que contenía altos niveles de fibra dietética (268 g/kg de MS) comparado con una dieta baja en fibra (59 g/kg de MS) durante un período de 3 meses.

No solo la cantidad de fibra en la dieta es importante, la fuente de fibra también juega un rol importante en la digestión y la absorción. Consumos similares de salvado de trigo o pulpa de remolacha, no alteran la tasa de absorción de glucosa y nitrógeno en cerdos. Sin embargo, la fibra de pulpa de remolacha incrementa la fermentación en el tracto posterior y la absorción de ácidos grasos volátiles; de esta forma es como la fuente de fibra puede tener un importante efecto en el aporte de energía al organismo.

Una acción importante de algunos compuestos fibrosos es que tienen la capacidad de ligar compuestos orgánicos (Davidson y McDonald, 1998). La fibra dietética, reduce la reabsorción de ácidos biliares en el íleon, e incrementa la cantidad de ácidos biliares y grasas que llegan al colon (Eastwood, 1992). Algunos componentes de la fibra tienen la habilidad de ligar los ácidos biliares y otros no. El componente de la fibra que tiene la habilidad para ligar los compuestos biliares, todavía es debatible. Kritchevsky (1988) menciona que la fracción insoluble, específicamente la lignina, es la responsable de ligar los ácidos biliares. Scheneeman y Gallaher (1985), sugieren que las gomas “guar” (las cuales son un compuesto de la fracción de la FS) son las responsables de ligar estos ácidos biliares. Otros autores (Vahouny y Cassidy, 1985), mencionan que el problema puede ser un fenómeno de adsorción, ya que es influenciada por el pH, la osmolaridad, la estructura biliar, y las formas físicas y químicas de la fibra. Independientemente del mecanismo, está claro que la fibra, incrementa la eliminación de ácidos biliares que pueden afectar la digestión de lípidos y su metabolismo.

La inclusión de fibra en la dieta estimula las secreciones gástricas. Altos niveles de fibra dietética en forma de salvado de trigo, incrementa el volumen total de los jugos gástricos, la salida de H^+ y Cl^- , y la secreción y actividad del total de pepsina comparada con cerdos en crecimiento alimentados con niveles bajos y medios de fibra. De igual forma, Zebrowska *et al.* (1983), reportó que el crecimiento de cerdos alimentados con una dieta alta en fibra, secreta dos veces más jugos

gástricos por día que cerdos alimentados con dietas purificadas (4 y 8 L respectivamente).

Para describir los efectos de la fibra dietética en el intestino delgado y grueso del cerdo, es importante mencionar algunas diferencias en la digestión y absorción de nutrientes entre los cerdos y otros animales de granja. De acuerdo con Bach (2001), la diferencia más significativa entre el intestino delgado y el grueso de los cerdos es el tipo de digestión y tiempo de la retención. El tiempo de tránsito de la digesta a través del intestino grueso del cerdo es mayor (entre 20 y 40 h) que a través del estómago e intestino delgado (entre dos y 16 h). Comparado con otros animales, el intestino delgado es largo y permite una digestión endógena intensiva a un pH muy cercano a la neutralidad. La digestión en el ciego y el intestino grueso se basa en una intensiva degradación microbiana (Wenk, 2001). Esto significa que hay dos diferentes vías de aporte de energía en la cerda, la ileal y la cecal (Dierick *et al.*, 1989). El hecho de que los distintos tipos de fibra reduzcan el tiempo de tránsito de los nutrientes a través del tracto gastrointestinal, provoca que haya una reducción de la digestibilidad, por lo cual disminuye la absorción de nutrientes del intestino delgado.

Una de las teorías que explican el control del consumo de alimento es la teoría glucostática, la cual sugiere que cuando los niveles de glucosa son bajos, su utilización por las neuronas en el hipotálamo disminuye, y el consumo de alimento se estimula. Cuando los niveles de glucosa se elevan sobre los niveles normales, la insulina es secretada para facilitar la captación de glucosa por varios tejidos, reduce los niveles de glucosa en sangre y se vuelve a estimular el consumo de alimento. El incremento de la glucemia aumenta la velocidad de descarga de las neuronas glucorreceptoras del centro de la saciedad de los núcleos ventromedial y paraventricular del hipotálamo; este mismo aumento de la glucemia, reduce de manera simultánea la descarga de las neuronas glucosensibles del centro del hambre del hipotálamo lateral.

Por otra parte, la composición de la dieta tiene un efecto significativo sobre el tipo y función de la flora intestinal (Varel y Yen, 1997). La mayoría de los nutrientes digeridos por la acción de las secreciones gástricas y pancreáticas, son absorbidos en el intestino delgado, mientras la población microbiana en el intestino grueso fermenta parte del material indigestible como la fibra dietética (Varel y Yen, 1997). Esta capacidad de la población microbiana para fermentar material indigestible es asociada principalmente con la concentración de FS dietética y en menor magnitud la FI de la digesta (Varel y Pond, 1985; Davidson y McDonald, 1998). La degradación bacteriana de fibra en el tracto gastrointestinal está relacionada a la edad de los animales alimentados con dietas fibrosas. El proceso de fermentación permite a la microflora del colon utilizar a la fibra como un substrato energético. La fermentación microbiana en el intestino grueso resulta en la producción de componentes como: ácidos grasos volátiles (AGV), lactato, amoníaco, y varios compuestos como hidrógeno, dióxido de carbono y metano (Jorgensen y Jensen, 1994; Schneeman, 1998). Los ácidos grasos volátiles (acetato, propionato y butirato) son absorbidos y pueden satisfacer entre el 10 y 30 % del requerimiento de energía de mantenimiento de un cerdo (Varel y Pond, 1985; Varel y Yen, 1997). La baja eficiencia energética es explicada por las pérdidas de energía en forma de CH_4 , H_2 , CO_2 y como calor de fermentación.

2.5 Efectos de la fibra dietética sobre el crecimiento intestinal, proliferación y morfología celular de cerdos

El tracto gastrointestinal utiliza una gran proporción de la energía y proteína corporal (Ferrell, 1988), la actividad metabólica en el TGI es relativamente alta en comparación con otros tejidos (Ferrell, 1988). Los requerimientos de energía de mantenimiento del hígado y TGI representan una gran proporción (50 al 75%) del requerimiento de energía de mantenimiento del cuerpo entero (Ferrell y Jenkins, 1985; Ferrell, 1988). La alimentación con dietas altas en fibra (10% de paja de trigo) en períodos de más de 14 días, alteran la tasa de recambio celular así como la morfología intestinal en cerdos en crecimiento, lo cual sostiene la hipótesis que

altas tasas de gasto energético por parte de las vísceras son asociadas con las altas tasas de recambio celular (Jin *et al.*, 1994).

Jin *et al.* (1994) determinaron los efectos de la fibra dietética sobre el crecimiento, proliferación, muerte celular y la morfología del epitelio intestinal de cerdos en crecimiento (con un peso inicial de 14.3 +/- 1.2 kg). La alimentación fue con dietas que contenían 0 o 10 % de paja de trigo (dieta baja en fibra BF y dieta alta en fibra AF) ambas dietas fueron isoenergéticas (3.26 Mcal EM/kg) e isonitrogenas (16 % PC) para un consumo a libre acceso por 14 días; las concentraciones de FDN fueron de 11.6 y 16.7, mientras que para FDA fueron de 4.9 y 9.3 respectivamente. El consumo de alimento, ganancia diaria, la relación ganancia: consumo y el peso corporal final no difirió entre tratamientos. El peso de las vísceras y los pesos viscerales por unidad de peso corporal eviscerada no fueron afectados por las dietas. El ancho de la vellosidad fue mayor para AF contra BF en yeyuno e íleon. La profundidad de las criptas incrementó en AF contra BF para yeyuno, íleon y colon.

El hecho de no haber encontrado diferencias entre los pesos de los órganos en ambos tratamientos, fue debido al tiempo de exposición a la dieta, lo que otros autores (Kass *et al.*, 1980; Southgate, 1990; Hansen *et al.*, 1992) encontraron fue que cuando el tiempo de exposición a la dieta fue mayor, si se observaron diferencias en el peso y tamaño de los órganos. Kass *et al.*, (1980), encontraron cambios en el tamaño de los órganos después de más de 45 días a la exposición de una dieta con 20, 40 y 60 % de alfalfa en cerdas de reemplazo menores a 48 y 89 kg de peso; por otra parte Hensen *et al.*, (1992) también encontraron una hipertrofia del tracto gastrointestinal de ratas tratadas con 3 distintos tipos de fibra durante un período de 4 semanas.

En este estudio no se encontraron diferencias entre los tratamientos AF y BF para el largo de las vellosidades y sin embargo el ancho de las vellosidades fue mayor para la dieta AF. Moore *et al.* (1988), encontraron que una dieta alta en fibra

(cascarilla de avena, cascarilla de soya y alfalfa, la cuales contenían 16.21, 17.34 y 14.34 % de FDN y 7.44, 9.62 y 8.38 % de FDA) no afectan la forma de la vellosidad o su morfología de superficie en el yeyuno de cerdos en crecimiento (9.7 kg de peso) durante un período experimental de 35 días. Se ha observado que dietas con pectinas disminuyen la altura de la vellosidad intestinal en ratas. Cassidy *et al.* (1984) reportaron que el yeyuno de ratas alimentadas con 15 % de celulosa, mostró hipoplasia (reducción de la proliferación celular) en un período experimental de 6 semanas, esta respuesta fue asociada con un pequeño daño relativo de la mucosa intestinal. Jin *et al.* (1992) observaron que con una dosis oral de celulosa en cerdos lactantes, se reduce la longitud de las vellosidades del yeyuno y del íleon aproximadamente un 15 %. Los resultados encontrados en este experimento demostraron que el desarrollo del TGI y su morfología pueden ser influenciados por una dieta fibrosa en cerdos así como en otras especies monogástricas.

2.6 Efectos metabólicos de la fibra dietética

Al incrementar el contenido de fibra a las dietas, se disminuye la absorción de lípidos y energía (Wilfart *et al.*, 2007). La fibra dietaría incrementa la masa intestinal (Pond *et al.*, 1988), la proliferación de enterocitos y colonocitos (Jin *et al.*, 1994), la síntesis de proteína intestinal y producción de mucinas (Hedemann *et al.*, 2006). Esos cambios en el intestino junto con la disminución de la absorción de energía, probablemente provocan un incremento en la demanda de energía del tracto intestinal y una repartición de los almacenes de lípidos y glucógeno endógeno cuando la fibra dietética se incrementa. Al incrementar el nivel de fibra, incrementa el consumo de oxígeno drenado por la vena porta, lo cual indica un incremento en la capacidad del metabolismo oxidativo por el intestino (Yen *et al.*, 2004). La alteración del metabolismo energético a través de una restricción calórica, se asocia con un incremento en la biogénesis mitocondrial en el hígado, lo cual incrementa farmacológicamente los NEFA en plasma; también cuando se incrementa la cantidad de lípidos en la dieta, se provoca un incremento de la

biogénesis mitocondrial en músculo esquelético (Weber *et al.*, 2011). Se desconoce si las alteraciones metabólicas asociadas con la fibra dietaria incluyen cambios en la biogénesis mitocondrial en el intestino, hígado o remanentes del músculo esquelético; también se desconoce si las fuentes de fibra que difieren en su habilidad para impactar la utilización de energía dietética, pueden impactar la biogénesis mitocondrial y la partición de almacenes energéticos endógenos de distinta forma.

Weber *et al.* (2011), alimentaron a cerdas en crecimiento (15 +/- 0.7 kg) con dos diferentes fuentes de fibra: pulpa de remolacha (FS) o salvado de trigo (FI) y un control (maíz soya). Las dietas se formularon isocalóricas e isoproteicas; las cerdas se alimentaron a libre acceso. Se encontró que no hubo efectos de la fuente de fibra sobre las concentraciones de glucosa o colesterol, sin embargo, las concentraciones de NEFA y triglicéridos fueron mayores cuando los cerdos se alimentaron con la fuente de FS comparado con el control y la fuente de FI. Las concentraciones colónicas de acetato fueron mayores en cerdos alimentados con FS y FI comparadas con el control. Las concentraciones de ácido butírico y propiónico no fueron afectadas por la adición de fibra a la dieta. Aunque el nivel moderado de fibra adicionada a la dieta no tuvo impacto alguno sobre el consumo promedio diario ni afectó el crecimiento de los animales, se observó que la fuente de fibra altera de forma diferente a los metabolitos de energía en suero, el contenido de ADN de tejido mitocondrial (mtDNA) y la expresión de genes envueltos en el metabolismo de la energía.

En el íleon y colon de cerdos alimentados con salvado de trigo se encontró por lo menos un indicador de la biogénesis mitocondrial mtDNA y la expresión de citrato sintasa de RNA mensajero (CSmRNA) incrementó su actividad o tendió a hacerlo. Tanto para el coactivador del receptor activado del proliferador de peroxisoma 1 α (PGC1 α) y Sirtuina 1 (Sirt1), son reguladores positivos de la biogénesis mitocondrial (Coppari *et al.*, 2009), por lo que es interesante que la abundancia de ambos de esos transcritores parecen ser sobrerreguladores después de la

alimentación con salvado de trigo. Esta sobrerregulación de PGC1 α y Sirt1 puede servir como una respuesta coordinada para incrementar la biogénesis mitocondrial para proveer más energía para procesos celulares, así como la proliferación de células en el intestino de cerdos alimentados con salvado de trigo. Al alimentar a los animales con salvado de trigo, incrementan los niveles del antígeno nuclear de células en proliferación (PCNA) y mRNA en íleon y colon, los cuales ya se habían usado previamente como indicadores de la proliferación celular dentro del intestino porcino (Willing y Van Kessel, 2007).

En trabajos previos donde se usó paja de trigo como fuente de FI, indicaron un incremento en la proliferación de colonocitos y enterocitos (Jin *et al.*, 1994). Parece ser que cuando se alimenta a los cerdos con una gran cantidad de FI, se incrementa sus demandas metabólicas en parte por un incremento en la proliferación celular. Se desconoce la relevancia biológica del incremento del contenido intestinal de mtDNA en cerdos alimentados con salvado de trigo, pero se presume que puede servir para incrementar el metabolismo oxidativo dentro del tejido intestinal. Yen *et al.*, (2004) demostraron que la alimentación con incrementos de fibra a base de alfalfa, incrementa la utilización de oxígeno por parte de los órganos irrigados por la vena porta. Se sugiere que el incremento de la síntesis de proteína mitocondrial en el intestino es debido al incremento en la producción de AGV por parte de bacterias alojadas en el intestino (Rodenburg *et al.*, 2008).

En el trabajo de Weber *et al.* (2011), el salvado de trigo fue el único que incrementó mtDNA o CSmRNA en tejido intestinal, sin embargo, cada fuente de fibra (tanto FS y FI), incrementó la concentración de AGV en el colon indicado por el incremento de acetato colónico. Esto indica que tal vez otros factores, además de incrementar la producción de AGV pueden ser responsables de incrementar la proteína mitocondrial y el ADN observado con ciertas fuentes de fibra.

Varios trabajos han evaluado los impactos tanto de la FS como de la FI sobre la digestibilidad de la energía y lípidos, y se puede inferir que cada fuente de fibra altera de distinta forma la absorción de energía de la dieta. En general la fibra dietética disminuye la absorción de lípidos. Wilfart *et al.* (2007) observaron que la pulpa de remolacha reduce la absorción intestinal de lípidos más que cuando se usa salvado de trigo, y esto se atribuye a la mayor cantidad de FS contenida en la pulpa de remolacha. Las diferencias en la absorción de lípidos dietéticos, pueden estar reflejados en las diferencias de las concentraciones de NEFA en plasma y triglicéridos de cerdos alimentados con FS y FI.

En el trabajo de Weber *et al.*, (2011) se observó que la fuente de FI dada por el salvado de trigo, incrementó la capacidad del intestino para el metabolismo oxidativo y que una fuente de FS dada por la pulpa de remolacha induce una repartición de los almacenes de lípidos corporales vía movilización de NEFA. Cada fuente de fibra regula de distinta forma los genes envueltos en el metabolismo energético, lo cual impacta la utilización de nutrientes de las dietas.

2.7 Efectos de la fibra dietética sobre el bienestar animal

En los sistemas modernos de producción, las cerdas son confinadas en jaulas y se les restringe el alimento aproximadamente un 40 a 60 % de su consumo a libre acceso, para controlar la condición corporal (Matte *et al.*, 1994; Ramonet *et al.*, 1999; Meunier-Salaün *et al.*, 2001). Bajo esas condiciones, las cerdas pueden desarrollar diferentes estereotipos como morder los barrotes, tienen movimientos masticatorios sin alimento, adoptan una inquietud generalizada producto de la frustración relacionada al confinamiento y la restricción de alimento; este desarrollo de estereotipos puede ser usado para medir el bienestar (Terlouw *et al.*, 1991; Meunier-Salaün *et al.*, 2001). La actividad conductual se ha medido en base a varios criterios, los cuales incluyen la actividad conductual del consumo y el apetito (Lawrence y Terlouw, 1993; Brouns *et al.*, 1997), el efecto de la tasa de alimentación o la respuesta asociada a las condiciones operacionales de la granja.

Los comportamientos agresivos también son considerados en cerdas alojadas en grupos asociados a la competencia por el alimento (Brouns *et al.*, 1994). Sin embargo los efectos de las dietas fibrosas pueden ser notados sin importar las condiciones de alojamiento. Estos incluyen una actividad general reducida y disminuye la ocurrencia de actividad oral estereotipada al final de cada comida. Las cerdas alimentadas con dietas fibrosas tardan más tiempo en consumir su ración de alimento, mostrando un mayor número de movimientos masticatorios y consecuentemente una menor tasa de consumo cuando se compara con cerdas que consumen concentrados, por lo cual disminuyen las interacciones agresivas entre cerdas alojadas en corrales colectivos.

De acuerdo con Noblet *et al.* (1997), la actividad física de la cerda gestante puede representar una fuente de variación en el cálculo de los requerimientos de energía. Estos autores reportan que una diferencia de 100 minutos por día en que la cerda se encuentra parándose y acostándose, equivale a la energía suplementada en 110 g de alimento. De acuerdo con Terlouw *et al.*, (1991), la restricción alimenticia tiene una mayor influencia en el desarrollo de estereotipos en la cerda que la restricción física. Robert *et al.* (1993) demostraron que la adición de salvado de trigo y mazorcas de maíz, incrementan el tiempo de descanso de las cerdas en un 10% comparado con una dieta convencional maíz-soya. En el mismo experimento, la inclusión de cascarilla de avena en la dieta, no fue tan efectiva como el salvado de trigo o las mazorcas de maíz para reducir los comportamientos estereotipados durante el primer período de la gestación. Sin embargo ambas dietas fueron igualmente efectivas para reducir los comportamientos estereotipados durante el segundo período de la gestación. Los autores sugieren que los efectos positivos de alimentar a las cerdas con una dieta voluminosa, no fueron debidos a un aumento en el tiempo de consumo de alimento, sino más bien se debieron a una reducción en la motivación para comer. Varios autores han demostrado que el tiempo que las cerdas gastan en estar de pie disminuye cuando se incorporan alimentos fibrosos a la dieta como paja molida, salvado de trigo, mazorcas de

maíz o pulpa de remolacha (Brouns *et al.*, 1994; Whittaker *et al.*, 1999; Ramonet *et al.*, 1999). En general, la reducción de la actividad física disminuyó de forma más marcada en cerdas de segundo parto alimentadas con dietas fibrosas en comparación con cerdas primerizas (Robert *et al.*, 1993).

Robert *et al.* (1997) concluyeron que las dietas con alimentos voluminosos reducen los estereotipos mostrados antes y después de cada comida, lo cual mejora el bienestar de las cerdas gestantes. En todos los casos, una restricción excesiva de alimento puede ser perjudicial para el buen desempeño reproductivo (Meuner-Salün *et al.*, 2001).

El tiempo que tarda una cerda en consumir una dieta fibrosa es mucho mayor que el que necesita para consumir una dieta convencional de gestación (Brouns *et al.*, 1995). Martin y Edwards (1994) reportaron que el tiempo de alimentación incrementó de 25 a 33 % en cerdas que fueron alimentadas en grupo con una dieta alta en fibra (2.75 Mcal ED, 76 % FC/kg), comparada con una dieta convencional (3.1 Mcal de ED, 41 % FC/kg). Otros autores han obtenido resultados similares cuando han estudiado a las cerdas en corrales individuales.

El tiempo que tardan las cerdas al consumir un alimento fibroso es el resultado de un mayor tiempo dedicado a la masticación (Ramonnet *et al.*, 1999). Investigaciones sobre el efecto de diferentes ingredientes fibrosos sobre el comportamiento de la alimentación es limitado, ya que existen más estudios donde se usan mezclas de varias fuentes de fibra. Brouns *et al.* (1995) ofreció varias dietas isoenergéticas a libre acceso con distintos tipos de fibra (pulpa de remolacha sin melaza, paja de cebada, cascarilla de avena, desecho de cervecería, salvado de arroz o salvado de trigo) y encontró un bajo consumo de alimento de una dieta con una gran cantidad de pulpa de remolacha, comparada con las otras dietas. El consumo disminuyó de 5 a 3 kg/d cuando la inclusión de pulpa de remolacha incrementó de 400 a 650 g/kg de alimento. Esta reducción en el consumo voluntario de alimento puede ser atribuida a varias propiedades de su

material, como puede ser su baja palatabilidad, sus efectos físicos o metabólicos específicos asociados a su capacidad de ligar grandes cantidades de agua y formación de geles o por sus características de fermentación.

La baja tasa de consumo de dietas fibrosas por parte de las cerdas puede ser resultado de un reducido nivel de motivación (Terlouw *et al.*, 1991), una baja palatabilidad del alimento, o los efectos asociados a los procesos físicos y metabólicos durante la digestión, asociados a la naturaleza de los componentes fibrosos en las dietas (Brouns *et al.*, 1994; 1997). Cerdas gestantes que tienen consumos restringidos de alimento, cuando se les ofrecen dietas formuladas en su mayoría con pulpa de remolacha, incrementan el tiempo de consumo de su ración diaria comparado con dietas fibrosas a base de salvado de trigo o una dieta convencional de gestación a base de almidón (Ramonet *et al.*, 2000). Algunas mediciones complementarias acerca de estas dietas experimentales, muestran una gran capacidad de retención de agua y un tiempo más prolongado de vaciado gástrico, cuando se ofrecen dietas a base de pulpa de remolacha comparado con las otras dietas (Guérin *et al.*, 2001).

2.8 Efectos de la fibra dietética sobre el tamaño de camada y cambios hormonales

El uso de fibra dietética en las dietas para cerdas gestantes puede mejorar su eficiencia reproductiva, mejorando el tamaño o peso de la camada, al nacimiento o al destete (Meunier-Salaun *et al.*, 2001; Quesnel *et al.*, 2009; Veum *et al.*, 2009). En contraste otros autores reportan solo diferencias numéricas sin beneficios de la fuente de fibra sobre la eficiencia reproductiva (McGlone and Fullwood, 2001; Rentería *et al.*, 2008a; Holt *et al.* 2006; Darroch *et al.*, 2008).

Ewan *et al.* (1996) investigó el efecto de adicionar 0.3 kg de paja de trigo en la dieta de cerdas gestantes durante tres ciclos reproductivos; en total analizó 699 camadas. Los resultados que obtuvo fue que las cerdas alimentadas con la paja

de trigo tuvieron más cerdos nacidos por camada que las cerdas alimentadas con la dieta control en el segundo y tercer parto (10.5 vs 9.0 y 10.6 vs 10.0 respectivamente), pero no fue así en el primer parto (9.9 vs 10.4).

Quesnel *et al.* (2009), ofrecieron una dieta control (8.88 Mcal ED/d y 17.2 % FDN) y una experimental (8.96 Mcal ED/d y 30.7 % FDN) a partir del día 26 de gestación hasta el parto; observaron su relación con la eficiencia productiva de la cerda y sus lechones. No encontraron diferencias en el número de lechones nacidos vivos (13.4 vs 12.8), peso al nacimiento (1.24 vs 1.26) y lechones destetados (12 vs 11.9). En el peso de los lechones al destete hubo diferencias (6.78 kg vs 7.49 kg), teniendo un promedio de ganancia diaria de (217 g vs 244 g) respectivamente.

Veum *et al.* (2009), evaluaron la adición de 13 % de paja de trigo sobre la eficiencia productiva de la cerda y su camada usando cerdas de segundo hasta quinto parto. Las dietas experimentales se ofrecieron desde el inicio hasta el día 110 de gestación. Al final de tres ciclos reproductivos promediaron 0.51 más lechones nacidos vivos /camada cuando se usó la dieta alta en fibra; también se incrementó el peso vivo al nacimiento y al destete en 0.87 y 3.59 kg respectivamente, el consumo de alimento durante la lactancia también fue mayor cuando las cerdas consumieron la dieta fibrosa en la gestación (5.99 vs 5.62 kg/d).

Rentería *et al.* (2008) analizaron el desarrollo embrionario en cerdas primerizas, las cuales fueron asignadas al azar a cuatro dietas experimentales, una control, una alta en FS, otra alta en FI y la última con una mezcla de FS y FI las cuales promediaban 8.88, 11.7, 17.78 y 21.11 % de FDN y 2.93, 1.95, 9.00 y 12.95 % FDA respectivamente. Las dietas fueron ofrecidas 28 días antes de la monta en una cantidad de 2.27 kg/d. Después de la monta, se ofreció una ración de alimento individual calculando sus requerimientos de energía de acuerdo al modelo para cerdas gestantes del NRC (1998), asumiendo 40 kg de ganancia durante la gestación y una esperanza de 10 lechones por camada. No se encontraron diferencias en las tasas de ovulación entre los tratamientos. Se observó un bajo

número de embriones vivos para FI y FS+FI; esto significa que altos niveles de FI dietética puede disminuir la tasa de sobrevivencia embrionaria sin afectar la tasa de ovulación. Los resultados de este experimento sugieren que el consumo de FS y FI no afecta la tasa de ovulación, mientras que el número total de embriones y el número de embriones viables pueden disminuir, cuando aumenta el consumo de FI en cerdas primerizas.

Por otra parte Rentería *et al.* (2008b) ofrecieron las cuatro dietas del día dos hasta el 109 de gestación para evaluar los impactos de las dietas fibrosas sobre el tamaño de camada. Lo que observaron fue que la inclusión de FS, FI y la mezcla de FS+FI durante la gestación no afectó el total de lechones nacidos, pesos de los lechones al nacimiento y al destete. Las cerdas que consumieron la dieta que contenía FS+FI durante la gestación perdieron menos peso en lactación que cerdas control debido a un aumento del consumo en lactación (6.2 vs 5.7 kg/d respectivamente), lo cual está relacionado al mayor consumo de FDA durante la gestación (56 g de FDA con la dieta control vs 249 g de FDA con la dieta FS+FI).

Calvert *et al.* (1985) compararon la inclusión de tres niveles de harina de alfalfa (5, 50 y 95 %) en la dieta de cerdas gestantes; no reportaron diferencias en el número total de cerdos nacidos por camada (12.3, 12.2 y 12.8, respectivamente) o en el número de cerdos nacidos vivos (12.3, 11.8 y 11.8, respectivamente). Pond *et al.* (1985) alimentaron a cerdas con dietas que contenían diferentes niveles de alfalfa y mazorcas de maíz. Las dietas fueron una dieta control (maíz-soya), la segunda dieta incluía 96 % de harina de alfalfa, la tercera dieta incluía 20 % de mazorcas de maíz y la cuarta dieta contenía 40 % de harina de alfalfa. No reportaron diferencias en el número total de cerdos nacidos por camada ni en el número de cerdos nacidos vivos entre las dietas.

Holt *et al.* (2006), midieron el efecto de la fibra sobre el bienestar de la cerda y su productividad, usando 239 cerdas en un arreglo factorial 2x2; se ofrecieron dos dietas (una control con 17.2 % de FDN y la experimental con 30.7 % de FDN) una

o dos veces al día para dar un total de cuatro tratamientos; las dietas se ofrecieron desde el inicio de la gestación hasta el día 109. Las cerdas alimentadas con la dieta fibrosa tuvieron menos lechones nacidos totales y nacidos vivos en relación con las cerdas que consumieron la dieta control (10.8 vs 11.7 y 9.8 vs 10.7 respectivamente). La frecuencia de alimentación no tuvo efectos sobre el tamaño y la ganancia diaria de peso de la camada. El consumo de alimento durante la lactancia no fue influenciada por el tratamiento.

Varias revisiones reportan mejoras numéricas pero no significativas en el tamaño de la camada al nacimiento cuando se incluyen niveles altos de fibra en las dietas de gestación; el número de replicas por tratamiento varían de 8 a 33 animales, lo cual es un número insuficiente para detectar diferencias significativas. Según Cromwell *et al.* (1989) se necesita un mínimo de 84 cerdas por tratamiento para detectar un 10 % de diferencia en el tamaño de camada entre tratamientos cuando se asume un coeficiente de variación de 26 % en el número de lechones nacidos totales.

La tasa de ovulación y el tamaño de la camada pueden ser afectadas por cambios en la cantidad y composición de la dieta. Efectos nutricionales que mejoran la eficiencia reproductiva de las cerdas pueden incluir a varias hormonas y metabolitos (Cox *et al.*, 1997). Zak *et al.* (1997) demostraron que la nutrición de la cerda durante la lactación tiene un gran efecto sobre la eficiencia productiva en el siguiente ciclo reproductivo.

La nutrición puede modular la función de reproducción ya sea alterando la secreción de las hormonas gonadotropas, o bien, teniendo efectos directos a nivel gonadal sin que esto se acompañe de cambios en las concentraciones circulantes de FSH y LH. Las variaciones en el nivel de alimentación se acompañan de fluctuaciones en las concentraciones circulantes de algunas hormonas (insulina, hormona del crecimiento, cortisol, entre otras) y metabolitos (glucosa, ácidos grasos libres, aminoácidos). Así, el déficit nutricional está asociado a una

elevación de las concentraciones plasmáticas de la hormona del crecimiento, cortisol y de los ácidos grasos libres (AGL), así como de una disminución de insulina (Quesnel *et al.*, 1998). Todas estas hormonas y metabolitos son posibles mediadores de las interacciones entre la nutrición y la reproducción debido a que: 1) sus concentraciones dependen del estado metabólico de los animales y 2) porque estas hormonas y metabolitos son capaces de modular la actividad del eje gonadotropo, gracias a que poseen receptores específicos sobre este eje. En el cerdo, la secreción de insulina es estimulada principalmente por el aumento en las concentraciones circulantes de glucosa las cuales están asociadas al consumo de alimento; las concentraciones elevadas de esta hormona, estimula el transporte intracelular de glucosa y aminoácidos a nivel de los tejidos muscular y graso, favoreciendo la síntesis de proteínas y grasa. La insulina estimula la producción de estradiol y disminuye la pérdida de folículos, favoreciendo así una mayor tasa de ovulación. Los efectos positivos de la insulina sobre la tasa ovulatoria pueden ser amplificados o reproducidos por un aporte energético elevado. Cuando el consumo de alimento es bajo, las concentraciones circulantes de insulina también son bajas y pueden provocar una menor producción de hormonas a nivel ovárico y por lo tanto, una disminución en el número de folículos que pueden ser ovulados, afectando directamente la tasa de ovulación (Mejía *et al.*, 2007).

Uno de los efectos de la adición de fibra a la dieta de cerdas gestantes es que puede incrementar el consumo de alimento durante la lactación, lo cual ayuda a que las cerdas no salgan con pérdidas tan fuertes de peso en la lactancia afectando su vida productiva en la piara.

2.9 Efectos de la fibra dietética sobre el consumo de alimento durante la lactación.

Durante el período de gestación, la ganancia de peso de las cerdas es resultado del incremento de la masa corporal y el desarrollo de los productos de la concepción. El incremento de la masa corporal (músculo y grasa) durante la

gestación es necesario debido a que las reservas corporales son necesarias durante la subsecuente lactación para soportar la producción de leche. Si durante la gestación no se acumulan suficientes reservas corporales, durante la lactancia podría haber una excesiva pérdida de músculo y grasa. Las pérdidas de masa corporal durante la lactación pueden influenciar el siguiente ciclo reproductivo incrementando el intervalo destete-estro y disminuyendo la tasa de concepción (Dourmad *et al.*, 1994). Por otro lado, el alimentar a las cerdas a libre acceso durante la gestación no únicamente resulta en un incremento en la ganancia de peso durante la gestación, sino también aumenta la posibilidad de que se pierda más peso de lo normal durante la lactación, debido a una disminución del consumo de alimento durante esta etapa (Weldon *et al.*, 1994a).

El consumo de alimento durante la lactación juega un rol importante en la longevidad y productividad de la cerda (Dourmad *et al.*, 1994). Varios factores pueden afectar el consumo durante la lactación, como la temperatura, el genotipo, el peso corporal, el número de lechones por camada, el número de partos y otros. Un bajo consumo de alimento durante la lactación resulta en una mayor movilización de reservas corporales lo cual es relacionado con un pobre desempeño reproductivo (Xue *et al.*, 1997). Dependiendo del peso y número de lechones lactantes, se requieren entre 5 a 7 kg/d de una dieta maíz-soya para mantener la condición corporal, desafortunadamente, muchas cerdas no alcanzan a cubrir los requerimientos de consumo de alimento.

El consumo de alimento durante la gestación puede afectar el consumo de alimento durante la lactación (Weldon *et al.*, 1994a). La inclusión de fibra en la dieta de gestación puede incrementar el consumo de alimento durante la lactación. Ewan *et al.* (1996) incluyó paja de trigo como fuente de fibra en la dieta de cerdas gestantes. En este experimento, las cerdas recibieron 1.8 kg/d de una dieta control (maíz-soya), o la misma dieta mas 0.3 kg de paja de trigo. Las cerdas alimentadas con paja de trigo durante la gestación consumieron mas alimento durante la

lactación (5.66 vs 5.82 kg), lo que resultó en un consumo de 550 kcal de EM más por día.

Danielsen y Vestergaard. (2001) tuvieron resultados muy similares cuando alimentaron a cerdas con una dieta a base de cebada-soya comparada con dietas que incluían pulpa de remolacha, o una combinación de cascarilla de avena, salvado de trigo y pasto verde. El consumo de alimento durante la lactación fue mayor con la dieta que contenía pulpa de remolacha (6.2 kg/d) comparado con el de las cerdas alimentadas con las otras dos dietas. Con la dieta control y la mezcla de los otros ingredientes fibrosos el consumo de alimento fue similar durante la lactación (5.9 kg/d). Los autores sugieren que el incremento del consumo de alimento observado durante la lactancia con la dieta de pulpa de remolacha fue probablemente un resultado de su reducido consumo de energía durante la gestación. Los autores teorizan que la mejora en el consumo de alimento durante la lactancia con el uso de dietas fibrosas durante la gestación fue debido a un incremento de la capacidad física u otros cambios físicos del tracto gastrointestinal. Incrementando el consumo de alimento durante la lactancia, puede ser importante para el mantenimiento de la condición corporal en líneas genéticas nuevas, particularmente en el caso de cerdas primíparas, donde la pérdida de condición corporal durante la lactancia conduce a una futura falla reproductiva.

2.10 Uso de rastrojo de maíz (RM) en cerdas gestantes

La búsqueda de alternativas para la alimentación de cerdos obedece a razones de índole económico, donde la diversidad de los insumos considerada la oferta, facilita la optimización de los recursos. Sin embargo, muchos de los alimentos son de naturaleza fibrosa, poco densos en nutrientes y por ende, poco redituables en un esquema de producción intensiva. Cuando un alimento incluye ingredientes que aportan fibra, los cerdos pueden digerirla y obtener nutrientes, tanto de la porción soluble como, por los procesos fermentativos en el intestino de las

diferentes fracciones de fibra (Cisneros y Cuarón, 1993a). Las cerdas gestantes y los sementales generalmente reciben alimentación restringida para que no aumenten de peso en forma excesiva, ya que ello traería como consecuencia dificultades a la monta o al parto, provocando una baja productividad; aunque estos animales tienen la capacidad para consumir varios kg de alimento, generalmente solo se les proporciona dos kg/día. Es por eso que el uso de forrajes es ideal para los animales que se encuentran en estas etapas productivas.

De los esquilmos agrícolas generados en México, el RM es el que se produce en mayor volumen, dado que el cultivo de maíz ocupa la mayor área sembrada y cosechada, respecto a otros cultivos. El RM se destina principalmente a la alimentación de rumiantes por su alto contenido en fibra. Por esto mismo, la inclusión de RM en la alimentación de gestación puede ser atractiva para reducir los costos de alimentación e incrementar la productividad durante la lactancia dado que es un esquilmo que se encuentra disponible en la mayor parte del territorio nacional a precios accesibles.

Puesto que el RM contiene una alta proporción de FI (paredes celulares) es probable que con niveles elevados de inclusión se observen reducciones en la digestibilidad de nutrientes y energía. Sin embargo, en cerdas que son alimentadas con dietas altas en fibra normalmente se observa un mayor consumo de alimento lo que podría compensar la menor digestibilidad de nutrientes. En el estudio de Cisneros y Cuarón, (1993b), se determinó el valor nutritivo del RM y su influencia sobre el aprovechamiento de las fracciones de fibra, el nitrógeno (N) y la energía (E) de la dieta, usando 18 cerdos de 66 kg. Se usó una dieta basal sorgo-soya la cuál fue formulada para exceder en un 20 % las recomendaciones del NRC para animales de más de 60 kg, esta dieta se diluyó con cantidades crecientes de RM, a niveles del 2, 4, 6, 8 y 10 %. Por la adición de RM, la digestibilidad aparente de materia seca y fracciones de fibra disminuyó; este efecto pudo haber sido a que el mayor volumen de ingesta y el aumento en su

velocidad de paso a través del tracto digestivo. La excreción urinaria de E se mantuvo constante (en relación con la E consumida o digerida) independientemente de la concentración de RM en la dieta, lo que indica que los efectos del RM son sobre la digestión y no sobre la metabolización de los nutrientes.

Por otra parte, en el estudio de Rentería *et al.* (2008b), aunque la digestibilidad aparente de N y E se redujo en 4% en la dieta con paja de trigo, el consumo de N y E fue 6% mayor, por el mayor consumo de alimento, de manera que el N y la E digerida (i.e., absorbida) fue similar entre las cerdas que consumieron la dieta con paja de trigo y las cerdas del grupo control. En el mismo estudio se observó que la retención de N fue similar entre tratamientos.

3 HIPÓTESIS

La inclusión de 30 % de RM en la dieta de cerdas gestantes puede provocar cambios sobre la digestibilidad de nutrientes y en la dinámica de la digestión del alimento, los cuales pueden ser compensados por incrementos en el consumo voluntario de alimento para cubrir el requerimiento de nutrientes de mantenimiento, sin que se observen efectos negativos sobre los cambios de peso y composición corporal. Al no encontrarse efectos negativos sobre la composición corporal, la cerda podrá mantener un consumo aceptable durante la lactancia, sin que se vea afectada negativamente su productividad y composición corporal y, por lo tanto, el retorno al estro no será afectado por la inclusión de RM.

4 OBJETIVOS

Analizar los patrones del consumo de alimento durante los últimos dos tercios de la gestación ofreciendo una dieta con 30% de RM.

Calcular el efecto del RM sobre la digestibilidad de energía (E), nitrógeno (N), fibra detergente ácido (FDA) y fibra detergente neutra (FDN) en diferentes estadios de la gestación en cerdas.

Estimar los cambios en peso corporal y de composición corporal durante el período de gestación y lactación.

Evaluar las variables que describen la productividad de las cerdas como: el número de lechones nacidos totales, nacidos vivos, nacidos muertos, así como sus respectivos pesos, conocer la ganancia de peso al destete, el comportamiento del consumo de alimento de la cerda a lo largo de la lactancia y el tiempo de retorno al estro.

5 MATERIAL Y MÉTODOS

El presente experimento se realizó en el Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal (CENID-Fisiología) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Ajuchitlán Colón, Querétaro, durante los meses de enero a diciembre del año 2011. Este trabajo se dividió en dos partes:

5.1 Elaboración de las dietas experimentales

La primera parte se realizó en la planta de alimentos donde se estableció el nivel óptimo de inclusión de un forraje tosco (RM) para la elaboración de la dieta experimental de cerdas gestantes, esperando tener un nivel de inclusión óptimo que se estimó que podría encontrarse entre 20 y 40 % de RM del total de la dieta. Las consideraciones que se tomaron en cuenta para definir el nivel óptimo de inclusión de RM en la dieta fueron:

- Definir el tamaño de partícula ideal del forraje para realizar la mezcla y el costo del gasto energético asociado al proceso de molienda y mezclado, teniendo en cuenta dos tamaños de partícula (3 y 5 mm).
- Una vez establecido el tamaño de partícula, se definió la capacidad de carga de la mezcladora, estimando cuanto disminuye la capacidad de la mezcladora por cada aumento de unidad porcentual de fibra que se agrega a la dieta con lo cual se pudo definir el óptimo porcentaje de inclusión de RM.
- Después de conocer el porcentaje óptimo de inclusión de RM a la dieta, se procedió hacer el cálculo de la dieta experimental.

Lo más recomendable fue usar un tamaño de partícula menor a 3 mm para la inclusión de RM en la dieta experimental, pero para esto, primero fue necesario

reducir el tamaño de partícula, haciendo un pre molido del RM con ayuda de cribas de distintos tamaños (25, 20 ,15 y 10 mm) y posteriormente usar la criba de 3 mm. Se calculó la eficiencia energética del molido sumando el gasto energético del pre molido con cada una de las cribas y el molido para llegar a un tamaño de partícula de 3 mm. El tamaño de partícula más pequeño que pudo ser molido directamente, fue con la criba de 5 mm. Se tuvieron un mínimo de 12 repeticiones para la molienda con cada criba. Respecto al cálculo del gasto energético, se tomó en cuenta la cantidad de RM molido por segundo, las revoluciones por minuto (RPM) y los caballos de fuerza (HP) del motor, y por medio de equivalencias de conversión de unidades se determinaron los KWh que se gastaron en cada proceso de molienda (Tippens, 1992).

Para determinar el nivel de RM que se usó en la dieta (después de haber determinado el tamaño de partícula), se midió el volumen total que ocupó el RM dentro de la máquina mezcladora para conocer su máxima capacidad; se calculó la densidad del RM y del alimento en harina, así como el volumen que ocuparon (kg/m^3); esto con el fin de elaborar la mayor cantidad de alimento sin que se viera afectada la calidad del mezclado. Para el tiempo de mezclado, se tomó como referencia un tiempo de mezclado de cinco minutos (Clark *et al.*, 2007).

5.2 Animales, diseño experimental y dietas

La segunda parte se llevó a cabo en la granja del CENID-Fisiología donde se usaron 96 cerdas en gestación de la Línea Fertilis 20 (Genetiporc) entre uno y siete partos las cuales fueron divididas en siete bloques (por grupos de producción), usando un modelo de bloques completos al azar con observaciones repetidas en el tiempo. Posterior al destete (los días viernes) las cerdas fueron bajadas de la sala de maternidad, pesadas y alojadas en grupos; tres días después se realizó la detección de estro con ayuda de un macho celador. Posteriormente, al después de detectado el estro, las cerdas fueron bañadas, pesadas y alojadas en jaulas individuales del área de gestación e inseminadas en

tres ocasiones con un intervalo de 12 horas. Veintiún días después de la inseminación se verificó rutinariamente la gestación con ayuda del macho celador. Desde el día de la inseminación hasta el día 41 de gestación se ofreció una dieta comercial de gestación de forma restringida (2.5 kg/día/cerda) dos veces al día con un intervalo de 10 h (7:00 am y 5:00 pm) en cantidades equivalentes.

Al día 42 de gestación comenzó la fase experimental, los tratamientos (Control y RM) fueron asignados al azar por bloques de cerdas (con una diferencia de 30 días entre cada bloque), tomando en cuenta el peso de las cerdas y el número de partos; la composición de las dietas se muestra en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición de las dietas.

Ingrediente, %	Control	RM
Sorgo molido	79.50	44.70
Rastrojo de maíz	0.00	30.00
Pasta de soya	16.20	13.00
Pasta de canola	0.00	4.30
Melaza de caña	0.00	3.00
Aceite	1.00	2.20
Carbonato de calcio	1.14	0.68
Ortofosfato de calcio	1.39	1.35
Sal	0.40	0.40
Premezcla de vitaminas	0.28	0.23
Premezcla de minerales	0.13	0.07
	Análisis calculado	
ED, Mcal/kg	3.43	2.70
EM, Mcal/kg	3.30	2.56
Nitrógeno, %	2.22	1.97
Lisina digestible, g/kg	5.10	4.50

FDN, %	11.00	29.50
FDA, %	3.10	15.90
Almidón, %	50.75	28.80
Azúcares solubles, %	2.19	3.74
Ca, %	0.91	0.87
P, %	0.62	0.53

Análisis de Laboratorio

MS, %	90.38	91.82
Nitrógeno, %	2.17	1.97
FDN, %	10.30	29.23
FDA, %	4.67	17.04
EB, Mcal/kg	4.08	3.93
ED, Mcal/kg	3.38	2.44

EB= Energía Bruta, ED= Energía digestible, EM= Energía metabolizable, FDN= Fibra detergente neutro, FDA=Fibra detergente ácido, Ca= Calcio total, P= Fósforo total

5.3 Metodología de alimentación

En la mañana del día 42 de gestación se ofrecieron las dietas experimentales; el cambio de dieta se hizo de manera súbita, pero en cantidades controladas, ofreciéndose, aproximadamente, 2.5 kg de la dieta control, esta cantidad fue calculada en el modelo de predicción del NRC (1998), tomado en consideración el peso de la cerda a la monta, el número de lechones nacidos totales promedio de la granja, el cual se ajustó a 14, la ganancia de peso esperada en gestación y las Mcal de EM contenidas en la dieta; se usó la misma cantidad de alimento desde el inicio del experimento hasta el día 105 de gestación. Los 2.5 kg de alimento se ofrecieron en dos porciones similares (1.25 en la mañana y 1.25 Kg en la tarde), con 10 horas de diferencia entre comidas (7:00 am y 5:00 pm). En el caso de la dieta RM, también se ofreció el alimento 2 veces al día en los mismos horarios. El

primer día se ofrecieron 2.5 kg, y la cantidad se aumentó en 500 g diarios conforme la cerda fue adaptando su consumo de fibra hasta establecer el consumo máximo, evitando que el alimento ofrecido rebasara la capacidad del comedero debido al aumento en el volumen de la dieta.

Una vez que se estabilizó el consumo máximo, las cerdas fueron alimentadas a saciedad; se tomó como aceptable un rechazo constante de aproximadamente 10 % en el comedero entre cada comida, evitando dejar el alimento a libre acceso para evitar el desperdicio.

5.4 Mediciones

En la mañana del día 42 las cerdas fueron pesadas y se escanearon con un ultrasonido de tiempo real para medir la profundidad de grasa dorsal y la profundidad del músculo largo dorsal en el punto P2, el cual se encuentra a la altura de la decima y última costillas a 6 cm de la línea media dorsal. Esto se volvió a repetir al día 105 de gestación y al destete (día 21 de lactación). Estas mediciones fueron usadas para predecir los cambios en la composición corporal (músculo y grasa) en el período de los 42-105 días de gestación y al destete.

Las dietas experimentales se realizaron en la planta de alimentos. El sorgo empleado fue molido con criba de 3 mm y el RM se molió con una criba de 5 mm. Se tomaron muestras de cada lote de ingredientes y de las dietas elaboradas para realizar análisis bromatológico (materia seca, cenizas, N, E, FDA y FDN) en el laboratorio.

Se realizó colección de heces con el objetivo de medir la digestibilidad de las dietas en los distintos períodos de la gestación, usando como marcador dióxido de titanio (TiO_2) y se determinó la tasa de pasaje de las dietas en tres ocasiones del día 56 al 105 de gestación con intervalos de 21 días. Los tres períodos fueron los siguientes: 56-63, 77-84 y 98-105 días de gestación. En cada período se

siguieron los siguientes procedimientos: El alimento ofrecido en la mañana del día uno contenía 0.3 % de dióxido de titanio (el cual se mezcló con la dieta previamente en la planta de alimentos) y óxido férrico (0.3 %) para delimitar la tasa de pasaje. El óxido férrico se ofreció solamente en la comida del día uno, mientras que el alimento con dióxido de titanio se ofreció en las dos comidas de los siete días. Seis horas después de haber ofrecido el alimento con el marcador, se inició la observación de las heces. La tasa de pasaje se midió en función del tiempo de aparición del marcador (heces pintadas de color rojo por efecto del óxido férrico), al inicio de la colección. El período de colecta de heces se realizó al día siguiente de que apareciera el marcador en las heces de todas las cerdas, lo cual ocurría generalmente a partir del día cuatro con el objetivo que se nivelaran las concentraciones de titanio. Las heces se colectaron directamente del ano a las 0800, 1200, 1500 y 1900 horas.

Inmediatamente después de la última colecta de cada día, las heces fueron homogenizadas; se tomó una submuestra y estas se guardaron en refrigeración a 4 °C; una vez que se tenía la última submuestra del día 7, se mezclaron las colectas de cada día y se volvió a tomar una submuestra, la cual fue secada inmediatamente en una estufa a 56° C para estimar la materia seca parcial, después fue molida en un equipo Thomas Wiley usando una criba de 2 mm. Una vez molida la muestra, se tomó una submuestra de 150 g la cual se almacenó en un sitio fresco y oscuro para su posterior análisis bromatológico.

Al día 105 de la gestación se dio un período de adaptación a la dieta de lactación usando la misma metodología de la adaptación de la dieta fibrosa. La dieta de lactación se ofreció durante toda la lactancia hasta el momento del servicio. Aproximadamente al día 110 de gestación, las cerdas fueron bañadas, pesadas y subidas a la sala de partos. Al parto, se calculó el peso corporal con ayuda de la siguiente ecuación elaborada por Rentería *et al.* (2007):

Peso de la cerda después del parto, kg = - 5.39 + (0.975 x peso de la cerda antes del parto, kg) – (1.281 x peso de la camada al nacimiento, kg) + (0.962 x número de lechones nacidos); $r^2 = 0.97$

También se registró el número y peso de los lechones nacidos vivos y muertos, número y peso de los lechones al destete y se midió el consumo y rechazo de alimento diario durante la lactancia. Se midió la profundidad de grasa dorsal, y la profundidad y área del músculo largo dorsal el día del destete, por último, se registraron los días de retorno al estro.

Durante la lactación se ofreció el alimento racionalmente desde el momento del parto, con incrementos de 0.5 kg/día hasta alcanzar un consumo a libertad, con la esperanza de alcanzar un consumo promedio cercano a los 6 kg/día. El alimento se ofreció dividido en cuatro comidas diarias (07:00, 12:00, 17:00 y 22:00 horas). El período de lactancia se estableció en 21 días y se registraron las variables productivas (número y peso de lechones nacidos totales, vivos, muertos, adoptados, los consumos diarios de las cerdas, el número y peso de los lechones destetados y los días de retorno al estro). Se realizaron las adopciones necesarias dentro de las primeras 24 horas ajustado a un mínimo de 10, pero el promedio fue de 11.39 lechones por camada; las adopciones se realizaron entre las cerdas que parieron el mismo día tomando en cuenta el tratamiento del que provenían.

5.5 Cálculos de consumo de nutrientes, E, digestibilidad y ED

Para obtener los coeficientes de digestibilidad fecal aparente (DFA) de MS, E, N, FDA y FDN se usó la siguiente fórmula:

$$DFA = (1 - (\text{concentración de titanio en alimento} \times \text{MS, E, N, FDN o FDA en heces}) / (\text{concentración de titanio en heces} \times \text{MS, E, N, FDN o FDA en alimento})) \times 100$$

Para obtener el consumo diario de MS (CDMS), MS digerida y MS excretada se usaron las siguientes fórmulas:

$$\text{CDMS} = (\text{Consumo promedio del período} \times \% \text{ de MS}) / 100$$

$$\text{MS Digerida} = (\text{CDMS} \times \text{CDAMS}) / 100$$

$$\text{MS Excretada} = \text{CDMS} - \text{MS Digerida}$$

Para obtener el consumo diario (CD), cantidad digerida y excretada de E, N, FDN y FDA, se usaron las siguientes fórmulas:

$$\text{CDE} = \text{CDMS} \times \text{E en dieta}$$

$$\text{E Digerida} = (\text{CDE} \times \text{CDAE}) / 100$$

$$\text{E Excretada} = \text{CD E} - \text{E Digerida}$$

$$\text{CD N, FDN ó FDA} = (\text{CDMS} \times \% \text{ de N, FDN ó FDA}) / 100$$

$$\text{N, FDN ó FDA Digerido} = (\text{CD N, FDN ó FDA} \times \text{CDA N, FDN ó FDA}) / 100$$

$$\text{N, FDN ó FDA Excretado} = \text{CD N, FDN ó FDA} - \text{N, FDN ó FDA Digerido}$$

La ED de la dieta se calculó de la siguiente manera:

$$\text{ED} = (\text{EB en la dieta} \times \text{CDAE}) / 100$$

Donde:

CDAMS = Coeficiente de digestibilidad aparente de la MS

CDAE = Coeficiente de digestibilidad aparente de la E.

5.6 Análisis estadístico

Para el presente experimento, se usó un modelo de bloques completos al azar con observaciones repetidas en el tiempo (muestreos cada 21 días), la unidad experimental fue la cerda y se bloqueó por grupo de producción. En el modelo se consideró el efecto de la dieta, el período de gestación y su interacción. Durante la gestación se analizaron las variables de edad de la cerda (por número de partos), peso a la inseminación, al inicio y final del experimento, ganancia de peso

materna, ganancia de peso de los productos de la concepción y grasa dorsal de la cerda con ayuda del procedimiento de GLM del paquete estadístico de SAS, mientras que para el consumo diario de alimento se usó el procedimiento MIXED y REG fue usado para describir el consumo semanal durante los dos últimos tercios de la gestación; ambos procedimientos provienen del paquete estadístico SAS. Para las variables que describen la productividad de las cerdas y el consumo semanal en lactancia, se usó usando el procedimiento GLM. Las medias se separaron usando el método de la diferencia mínima significativa. Por otra parte, las diferencias entre el consumo diario de E, N, FDA y FDN así como sus digestibilidades estimadas en los períodos de colecta se midieron por comparación de medias en un modelo de ANOVA con mediciones repetidas en el tiempo usando GLM y MIXED procedente de SAS.

6 RESULTADOS

6.1 Características del consumo en cerdas alimentadas a libertad

Los resultados del consumo de la dieta con 30 % de RM durante los dos últimos tercios de la gestación sobre el consumo de alimento, ganancia de peso y profundidad del músculo y grasa se muestran en la Cuadro 2. No hubo diferencias entre tratamientos en la edad de las cerdas por número de partos ni por el peso vivo de las cerdas al inicio del experimento. El consumo de la dieta control promedió 2.57 kg/d mientras que el consumo de la dieta RM fue de 3.94 kg/d durante los días 42 al 105 de gestación ($P < 0.001$). El promedio del consumo calculado de EM fue de 8.13 y 10.05 Mcal/día y 12.8 y 17.71 g de lisina digestible/día para las cerdas alimentadas con la dieta control y RM, respectivamente ($P < 0.001$).

La ganancia materna fue mayor ($P < 0.036$) con RM que con control, sin que esto afectara la ganancia de peso de los productos de la concepción promediando 23.24 kg (SD = 0.78 kg) durante la gestación. El grosor de grasa dorsal fue similar

entre tratamientos, promediando 23.24 mm de grasa dorsal al final de la gestación con una ganancia promedio de 3.24 mm con respecto a la medición hecha al día 42 de la gestación.

Cuadro 2. Efecto del consumo de una dieta RM durante los dos últimos tercios de la gestación sobre el consumo de alimento, ganancia de peso y profundidad de grasa dorsal.

Variables	Control	RM	EEM	P <
Edad de la cerda (No. de partos)	3.79	3.84	0.169	0.819
Peso a la inseminación (kg)	221.09	221.57	2.832	0.902
Peso al inicio del experimento (kg)*	238.69	237.85	3.480	0.845
Consumo promedio (kg)*	2.57	3.94	0.033	0.001
Consumo diario de EM durante la gestación (Mcal/día)*	8.13	10.05	0.116	0.001
Consumo diario de lisina digestible (g/día)*	12.80	17.71	0.165	0.001
Ganancia de peso materna (kg)*	11.17	17.96	2.574	0.036
Ganancia de peso de los productos de la	23.85	22.63	0.776	0.207

concepción (kg)*				
PGD al final de la gestación (mm)*	21.22	19.82	0.889	0.231
Ganancia de grasa dorsal al final de la gestación (mm)*	3.93	2.52	0.895	0.259

PGD = Profundidad de la grasa dorsal a la altura de la décima y última costillas.

* Variables analizadas a partir del día 42 de gestación.

Aún cuando el consumo de EM resultó mucho más alto de lo que se esperaba para las cerdas alimentadas con RM, el potencial glicémico de las dietas (azúcares + almidones solubles) resultó ser menor para el consumo promedio de RM con respecto al control ($P < 0.001$; Cuadro 3). Para el cálculo del consumo de almidón y azúcares solubles, se tomaron en cuenta los valores registrados para la dieta control y RM (Cuadro 1), y se ajustaron al consumo de alimento promedio que se tuvo durante los dos últimos tercios de la gestación (Cuadro 2).

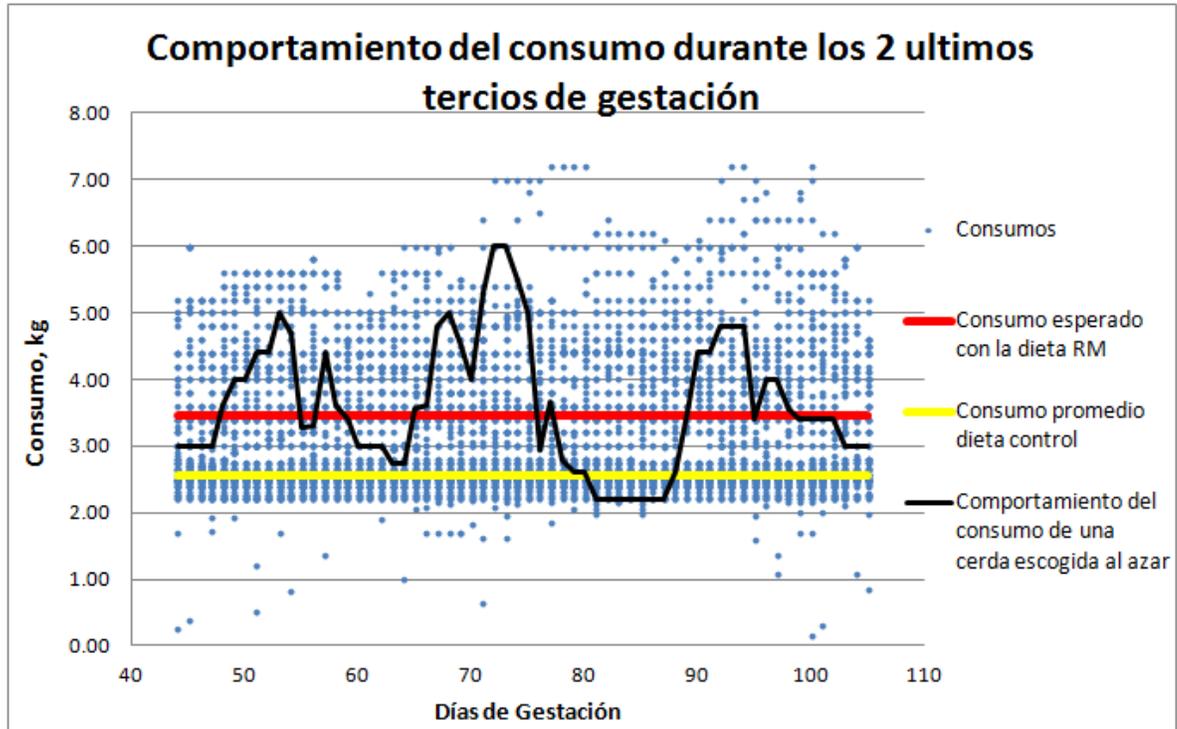
Cuadro 3. Diferencias en el consumo estimado de almidón y azúcares solubles durante los dos últimos tercios de la gestación.

Tratamiento	Almidón, %	Azúcares Solubles, %	Consumo de almidones y azúcares solubles, kg/día
Control ^a	50.75	2.19	1.35 ± 0.012
Rastrojo Maíz ^b	28.80	3.74	1.25 ± 0.011

^{a, b} Diferencias entre tratamientos a una $P < 0.001$

En la Figura 1 se observa el patrón del consumo de alimento promedio del control (línea amarilla), el consumo esperado (línea roja) y el consumo observado (puntos azules) con RM. El consumo de alimento fue altamente variable con RM (CV=23.5%; con un rango de 99 % de 0.16 a 7.2 kg/día), mientras que las cerdas alimentadas con la dieta control, mantuvieron su consumo constante durante toda la gestación (CV=6.56 %). Con RM, se estimó un requerimiento mínimo de consumo igual a 3.4 kg/día para el promedio de las cerdas (Figura 1, línea roja), dada una densidad energética de la dieta de 2.56 Mcal/kg de EM, pero como se puede observar (puntos azules), el consumo sobrepasó las expectativas desde los primeros días que se comenzó a ofrecer, llegando a tener consumos hasta de 6 kg, mientras que hubo cerdas que no llegaron a consumir ni medio kg de alimento durante los primeros 3 días. Al día 78 de gestación, hubo cerdas que consumieron hasta 7.2 kg mientras que el consumo mínimo registrado fue de 1.8 kg, teniendo una diferencia de 5.4 kg, mientras que para el día 105 el consumo máximo fue de 6 kg y el mínimo llegó a 1 kg. Esta variación en los consumos de las cerdas puede observarse con el ejemplo del consumo de una cerda seleccionada al azar (línea negra), donde muestra que en ningún momento se llegó a estabilizar el consumo de la cerda durante el periodo de gestación, ya que había veces que podía comer hasta 6 kg y tres días después llegar a comer solo 3 kg. En la gráfica de puntos (Figura 1) se observa que la gran densidad de datos se encuentra entre consumos de 3 a 5 kg, la gráfica describe el comportamiento de la población pero no describe la variación que está asociada al día, debido a la gran variación existente.

Figura 1. Patrón del consumo de alimento promedio del control (línea amarilla), el consumo esperado (línea roja) y el consumo observado (puntos azules) con la dieta RM.

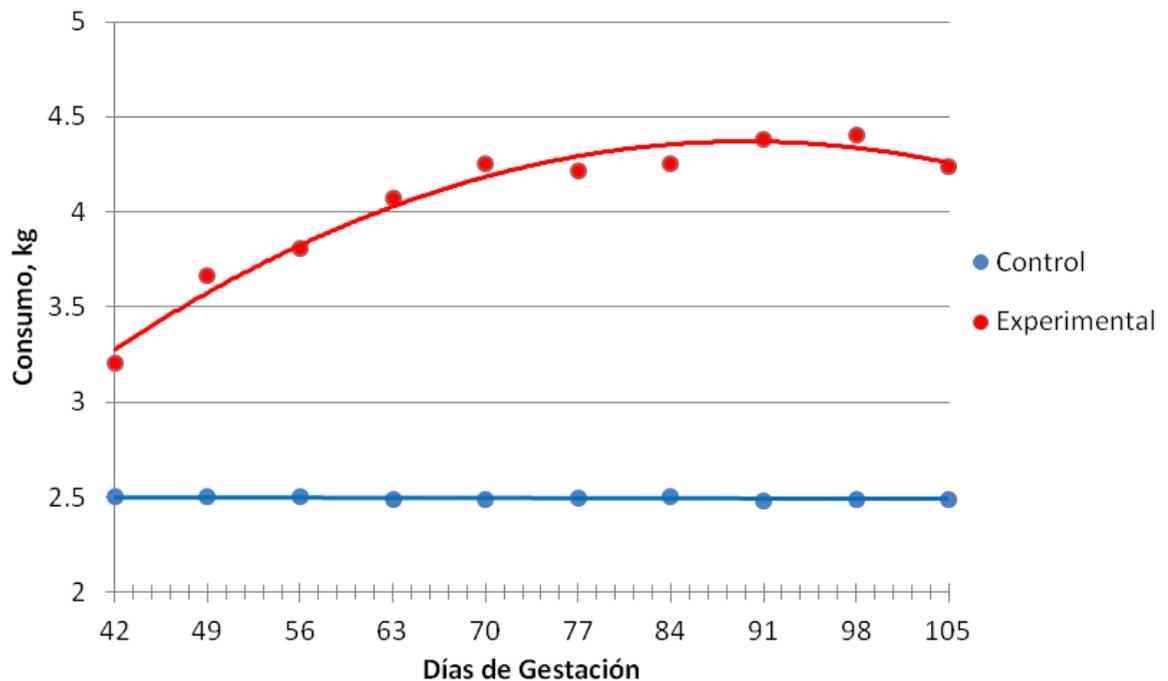


En la Figura 2 se observa el comportamiento del consumo promedio de alimento por semana, del día 42 al 105 de gestación. Con el control, el consumo de alimento no tuvo cambios del inicio al final; mientras que con RM se observó un efecto cuadrático ($P < 0.001$). Las cerdas alimentadas con RM tuvieron un incremento constante en el consumo durante los primeros 30 días; después del día 70 de gestación, el incremento en el consumo se llevó a cabo de manera menos significativa, hasta el día 90 de la gestación, donde se observó el efecto cuadrático del consumo, el cual disminuyó del día 90 al 105 de gestación. La ecuación de regresión que describe el patrón de consumo de alimento en cerdas alimentadas con RM de la semana 1 a la 9 en el periodo comprendido del día 42 al 105 de gestación fue:

$$Y = - 0.00069406 x^2 (\pm 0.00005457) + 0.11756 x (\pm 0.00775) - 0.51468 (\pm 0.26034)$$

$$R^2 = 0.2024$$

Figura 2. Comportamiento del consumo semanal de las dietas control y RM durante los dos últimos tercios de gestación.



6.2 Desempeño productivo de la cerda durante la lactancia.

Los resultados del consumo de dieta control y RM en la gestación, sobre el consumo de alimento y cambios corporales de las cerdas en lactancia, se presentan en el Cuadro 4. Independientemente del tratamiento ofrecido durante el período de gestación, no se encontraron diferencias en el consumo de alimento a los 7, 14 y 21 días de lactancia, promediando un consumo total de 5 kg/d.

El peso de las cerdas después del parto no difirió entre tratamientos y a pesar de que la pérdida de peso de la cerda durante la lactación fue diferente numéricamente, estadísticamente no se encontraron diferencias entre tratamientos; tampoco se encontraron diferencias en la profundidad de la grasa

dorsal al destete, la cual promedio 17.33 ± 0.085 mm, teniendo una pérdida similar entre los tratamientos de 3.22 ± 0.089 mm al final del período de lactancia.

Cuadro 4. Efecto del consumo de una dieta con 30% de rastrojo de maíz en la gestación sobre el consumo de alimento y cambios corporales en lactación.

Variables	Control	RM	EEM	P <
CDA en lactación (kg) ^a				
Día 0 al 7	4.81	4.62	0.219	0.977
Día 8 al 14	5.19	5.00	0.217	0.977
Día 15 al 21	5.28	5.12	0.220	0.977
Total	5.09	4.91	0.211	0.977
Peso de las cerdas después del parto (kg) ^b .				
	251.76	258.06	3.103	0.819
Pérdida de peso de cerdas en lactación (kg)				
	13.74	19.30	2.644	0.137
Profundidad de grasa dorsal al destete (mm) ^c				
	17.53	17.13	0.085	0.907
Pérdida de grasa dorsal al destete (mm) ^c				
	3.93	2.52	0.097	0.270

CDA= Consumo diario de alimento

^a Se ofreció una dieta convencional de lactación la cual contenía 3.3 Mcal de EM/kg y 16 % de PC.

^b Este peso fue calculado con la ecuación descrita por Rentería *et al.*, 2007.

^c El resultado se obtuvo tomando en cuenta la profundidad de grasa dorsal que tenían las cerdas al momento de entrar a la sala de maternidad.

6.3 Desempeño productivo de la camada durante la lactación.

Los resultados del consumo de la dieta control y RM en la gestación, sobre el desempeño productivo de la cerda en lactación y el tiempo de retorno a estro se presentan en el Cuadro 5. El régimen de alimentación durante la gestación no influyó en el número de lechones nacidos totales, nacidos vivos y destetados; lo mismo pasó con el peso de los lechones al nacimiento y al destete los cuáles promediaron 1.44 y 6.10 kg, respectivamente. De la misma forma, no se vio afectada la ganancia de peso de la camada al destete, la cual promedió 40.89 kg. No se encontraron diferencias en los días de retorno a estro entre tratamientos.

Cuadro 5. Resultados del consumo de una dieta control y RM en la gestación sobre el desempeño productivo de la cerda en lactación y retorno al estro^a.

Variables	Control	Dieta RM	EEM	P <
Lechones nacidos totales	13.61	13.18	0.461	0.515
Lechones nacidos vivos	13.03	12.60	0.455	0.499
Peso promedio de lechón al nacimiento (kg)	1.46	1.43	0.037	0.587
No. de lechones lactantes	11.33	11.45	0.242	0.745

No. de lechones destetados	9.58	9.41	0.304	0.692
Ganancia de peso de la camada al destete (kg)	41.44	40.34	2.258	0.727
Retorno Estro (días)	5.26	5.24	0.164	0.907

^a Los datos son registrados como medias y su error estándar

6.4 Comportamiento de la digestibilidad en los dos últimos tercios de la gestación.

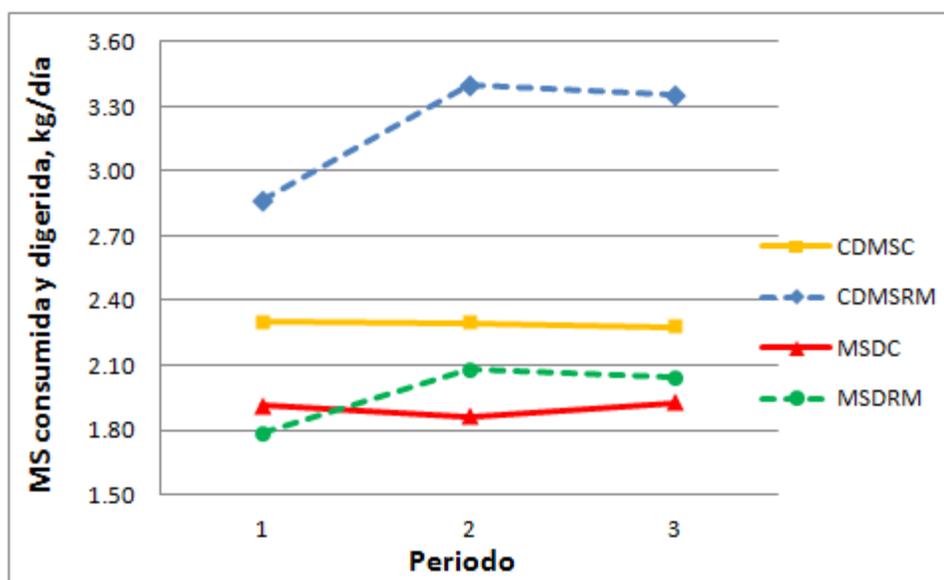
La cantidad de MS en las dietas fue similar entre tratamientos y períodos (Cuadro 6). No se encontraron efectos de la interacción entre tratamiento y período (Cuadro 7) sobre la DFMS. Dentro de los efectos principales del tratamiento, con la dieta RM, la DFMS fue menor respectó al control ($P < 0.01$). Referente a los períodos, en el período 2 la DFMS fue menor por un poco más de 3 % con respectó al promedio de los otros dos períodos ($P < 0.041$; Cuadro 9). Para el consumo de MS se encontró un efecto de la interacción entre período y tratamiento; cuando se ofreció la dieta RM hubo mayor consumo en el período 2 y 3 con respectó al 1 ($P < 0.046$); para la dieta control no se observaron diferencias en el consumo durante esos tres períodos, debido a que la cantidad ofrecida se fijó durante toda la gestación. Con respectó a la MS digerida ($P < 0.092$) y la MS excretada ($P < 0.006$), la interacción fue significativa con un comportamiento muy similar a la MS consumida. La MS digerida y excretada en el control fue similar, pero en RM, la MS digerida y excretada fue menor en el período 1 y se incrementó en el 2 y 3 (Cuadro 8). En la Figura 3, se observa gráficamente la interacción entre el tratamiento y el período sobre el consumo y MS digerida.

Cuadro 6. Contenido analizado de materia seca, energía, nitrógeno, fibra detergente neutra y fibra detergente ácido de las dietas usadas.

Período ^a	Control			RM		
	1	2	3	1	2	3
Materia seca, %	90.19	91.24	90.23	91.23	92.56	92.16
Energía bruta, Mcal/kg	4.07	4.09	4.08	3.95	3.90	3.94
Nitrógeno, %	2.20	2.29	2.06	1.94	2.00	1.98
FDN, %	11.46	11.41	9.66	27.62	30.79	30.10
FDA, %	5.29	6.26	3.52	15.99	18.72	17.41

^a Período 1, del día 56 al 63 de gestación; Período 2, del día 77 al 84 de gestación; Período 3, del día 98 al 105 de gestación

Figura 3. Resultados de la interacción entre el tratamiento y el período sobre la cantidad de MS consumida y digerida.



CDMSC = Consumo diario de materia seca control; CDMSRM = Consumo diario de materia seca rastrojo de maíz; MSDC = Materia seca digerida control; MS DRM = Materia seca digerida rastrojo de maíz.

La cantidad de EB en las dietas fue similar entre períodos y entre tratamientos; solo hubo una diferencia de 0.15 % a favor de la dieta control (Cuadro 6). Para la DFE no se encontraron efectos de la interacción entre tratamiento y período (Cuadro 7). La DFE en la dieta control fue mayor que con RM ($P < 0.017$; Cuadro 9). La DFE se redujo linealmente ($P < 0.003$) del período 1 al período 3. Para el consumo de E, la interacción tratamiento y período fue significativa (Cuadro 8), siendo similar el consumo de E en los tres períodos para la dieta control, mientras que para RM el primer período fue menor respectó a los otros dos períodos ($P < 0.009$). La cantidad de E digerida ($P < 0.08$) y excretada ($P < 0.011$) fue similar para la dieta control en los tres períodos; mientras que para RM la E digerida fue mayor en el período 2 pero la E excretada fue mayor en el período 3 (Cuadro 8). La ED de la dieta control fue mayor respecto a RM ($P < 0.01$), mientras que entre períodos, la ED se redujo linealmente ($P < 0.005$).

Cuadro 7. Resultados de la interacción del tratamiento y período sobre la digestibilidad parcial de la materia seca, energía, nitrógeno, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido.

Período ^a	Control			RM			EEM	P <
	1	2	3	1	2	3		
Criterio de respuesta ^b , %								
DFMS	83.19	82.00	84.40	62.24	56.52	61.70	1.459	0.142
DFE	84.18	82.59	81.46	65.60	61.72	59.45	1.483	0.385
DFN	79.62	76.28	71.50	62.15	55.55	55.67	1.830	0.036
DFFDN	62.11	64.54	54.68	39.10	39.12	32.69	3.283	0.872
DFFDA	56.90	69.82	31.98	32.94	32.53	23.38	4.086	0.003

^a Período 1, del día 56 al 63 de gestación; Período 2, del día 77 al 84 de gestación; Período 3, del día 98 al 105 de gestación

^b DFMS = digestibilidad fecal de la materia seca; DFE = digestibilidad fecal de la energía; DFN = digestibilidad fecal de nitrógeno; DFDN = digestibilidad fecal de la fibra detergente neutra; DFFDA = digestibilidad fecal de la fibra detergente ácida

La concentración de N en la dieta control fue de 2.18 %, mientras que para la dieta RM fue de 1.97 % (Cuadro 6). Para la DFN, la interacción del tratamiento y período fue significativa ($P < 0.036$; Cuadro 7), siendo similar para la dieta control en los períodos 1 y 2, pero disminuyó en el 3, mientras que para RM, la digestibilidad fue mayor en el período 1 y disminuyó en los períodos 2 y 3. El consumo de N fue similar en los períodos 1 y 2 pero se redujo en el período 3 del tratamiento control a pesar de que la dieta se ofreció de manera restringida durante los tres periodos; en RM el consumo de N fue menor en el período 1, intermedio en el período 3 y mayor en el período 2 (interacción tratamiento y período, $P < 0.009$; Cuadro 8). El N digerido fue similar en los períodos 1 y 2 pero se redujo en el período 3 del tratamiento control; en RM el N digerido fue similar en el período 1 y 3 y mayor en el período 2 ($P < 0.080$). El N excretado fue similar en los 3 períodos en el control pero en RM el N excretado fue menor en el período 1, y mayor en los períodos 2 y 3 (interacción tratamiento y período, $P < 0.003$).

Cuadro 8. Resultados de la interacción del tratamiento y período sobre la materia seca, energía, nitrógeno, fibra detergente neutra y fibra detergente ácido consumida, digerida y excretada.

Período ^a	Control			RM			EEM	P <
	1	2	3	1	2	3		
Materia seca								
Consumida, kg/d	2.30	2.29	2.28	2.86	3.60	3.35	0.131	0.046
Digerida, kg/d	1.91	1.86	1.93	1.79	2.08	2.04	0.075	0.092
Excretada, kg/d	0.39	0.42	0.36	1.08	1.52	1.31	0.074	0.006
Energía								
Consumida, Mcal/d	9.36	9.37	9.31	11.30	13.70	13.18	0.419	0.009
Digerida, Mcal/d	7.87	7.70	7.59	7.41	8.80	7.78	0.301	0.080
Excretada, Mcal/d	1.48	1.67	1.72	3.89	5.20	5.40	0.292	0.011
ED, Mcal/día	3.42	3.38	3.33	2.59	2.40	2.34	0.074	0.199

Nitrógeno								
Consumido, g/d	50.72	52.37	47.1	55.59	71.00	65.99	2.259	0.009
Digerido, g/d	40.24	39.73	33.6	34.71	41.97	36.92	1.778	0.080
Excretado, g/d	10.36	12.61	13.51	20.87	30.75	29.06	1.696	0.003
FDN								
Consumida, g/d	265.14	262.22	219.85	792.82	1068.73	1011.84	33.773	0.001
Digerida, g/d	170.35	155.10	119.43	312.48	440.35	318.44	27.061	0.048
Excretada, g/d	95.42	109.89	100.58	480.19	649.93	693.25	36.961	0.001
FDA								
Consumida, g/d	121.94	145.72	79.28	457.30	664.74	586.85	21.767	0.001
Digerida, g/d	70.03	96.73	26.88	151.90	245.46	123.32	18.834	0.225
Excretada, g/d	52.60	49.19	52.53	305.26	436.06	463.39	26.420	0.001
Tasa de pasaje ^b	63.51	68.81	62.87	54.25	51.88	49.97	1.552	0.023

^a Período 1, del día 56 al 63 de gestación; Período 2, del día 77 al 84 de gestación; Período 3, del día 98 al 105 de gestación

^b Valor determinado en horas, desde el primer momento en que se observó el marcador en las heces

La cantidad de FDN fue 18.66 % mayor en RM que en control (Cuadro 6). La interacción tratamiento y período (Cuadro 7), no resultó significativa sobre la digestibilidad de FDN. Por efecto del tratamiento, la digestibilidad de FDN fue menor para RM ($P < 0.014$) y por efecto de período, la digestibilidad de FDN se redujo en el período 3 ($P < 0.011$). El consumo y excreción de FDN fue similar en los tres períodos para el control, mientras que con RM el menor consumo y excreción fue en el período 1 (interacción tratamiento y período $P < 0.001$). La FDN digerida también fue similar en el control durante los tres períodos; para RM la FDN digerida fue mayor en el período 2 (interacción tratamiento y período $P < 0.048$).

Cuadro 9. Efectos principales del tratamiento y período sobre la digestibilidad parcial de la materia seca, energía, nitrógeno, fibra detergente neutra y fibra detergente ácido.

	Dieta				Período ^a				
	Control	RM	EEM	P <	1	2	3	EEM	P <
Criterio de respuesta ^b , %									
DMS	83.19	60.15	0.851	0.015	72.71	69.26	73.05	1.047	0.041
DE	82.74	62.26	0.865	0.017	74.89	72.16	70.46	1.064	0.003
DN	75.80	57.79	1.068	0.077	70.89	65.92	63.58	1.313	0.001
DFDN	60.44	36.97	1.917	0.014	50.60	51.83	43.68	2.355	0.011
DFDA	52.90	29.62	2.384	0.019	44.92	51.18	27.68	2.932	0.001

^a Período 1, del día 56 al 63 de gestación; Período 2, del día 77 al 84 de gestación; Período 3, del día 98 al 105 de gestación

^b DMS = digestibilidad de la materia seca; DE = digestibilidad de la energía; DN = digestibilidad de nitrógeno; DFDN = digestibilidad de la fibra detergente neutra; DFDA = digestibilidad de la fibra detergente ácida

La cantidad de FDA fue 12.3 % mayor para la dieta RM con respecto al control (Cuadro 6). La DFFDA fue menor en el período 3 con la dieta control, pero fue similar en los tres períodos con RM (interacción tratamiento y período $P < 0.003$; Cuadro 7). El consumo de FDA para el control fue mayor en el período 2 y similar en el período 1 y 3, mientras que en RM fue menor en el período 1, intermedio en el período 3 y mayor en el período 2 (interacción tratamiento y período $P < 0.001$; Cuadro 8). La FDA digerida no resultó significativa en la interacción tratamiento y período, pero por efecto del tratamiento, fue mayor con RM ($P < 0.025$) y fue menor en el período 3, intermedia en el período 1 y mayor en el período 2 ($P < 0.001$; Cuadro 10). La FDA excretada fue similar en los tres períodos para el control, mientras que en RM se incrementó linealmente del período 1 al período 3 (interacción tratamiento y período $P < 0.001$; Cuadro 8).

Cuadro 10. Efectos principales del tratamiento y período sobre el consumo, digestión y excreción de materia seca, energía, nitrógeno, fibra detergente neutra y fibra detergente ácido.

	Dieta				Período ^a				
	Control	RM	EEM	P <	1	2	3	EEM	P <
Materia seca, %	90.55	91.98	0.256	0.004	90.71	91.90	91.20	0.378	0.097
Consumida, kg/d	2.29	3.20	0.071	0.035	2.58	2.94	2.82	0.093	0.005
Digerida, kg/d	1.91	1.97	0.044	0.686	1.85	1.97	1.98	0.054	0.103
Excretada, kg/d	0.39	1.30	0.036	0.001	0.73	0.97	0.83	0.053	0.001
Energía									
Consumida, Mcal/d	9.35	12.73	0.244	0.037	10.33	11.54	11.24	0.301	0.007
Digerida, Mcal/d	7.72	8.00	0.176	0.650	7.64	8.25	7.68	0.216	0.098
Excretada, Mcal/d	1.62	4.83	0.141	0.023	2.69	3.43	3.56	0.207	0.001
ED, Mcal/día	3.38	2.44	0.036	0.015	3.01	2.89	2.83	0.053	0.005
Nitrógeno									
Consumido, g/d	50.06	64.19	1.314	0.094	53.16	61.68	56.54	1.621	0.001
Digerido, g/d	37.86	37.87	1.037	0.769	37.48	40.85	35.26	1.276	0.006
Excretado, g/d	12.16	26.89	0.771	0.051	15.61	21.68	21.28	1.133	0.001
FDN									
Consumida, g/d	249.07	957.80	19.652	0.004	528.98	665.48	615.85	24.236	0.001
Digerida, g/d	148.29	357.09	15.800	0.014	241.41	297.72	218.94	19.410	0.012
Excretada, g/d	101.96	607.79	18.036	0.006	287.81	379.91	396.91	26.620	0.001
FDA									
Consumida, g/d	115.64	569.63	12.666	0.010	289.62	405.23	333.06	15.620	0.001
Digerida, g/d	64.55	173.56	10.990	0.025	110.96	171.09	75.10	13.517	0.001
Excretada, g/d	51.44	401.57	12.762	0.006	178.93	242.62	257.96	18.748	0.001
Tasa de pasaje ^b	65.06	52.03	1.060	0.001	58.88	60.35	56.42	0.963	0.003

^a Período 1, comprende del día 56 al 63 de gestación; Período 2, comprende del día 77 al 84 de gestación; Período 3, comprende del día 98 al 105 de gestación

^b Valor determinado en horas, desde el primer momento en que se observó el marcador en las heces.

La tasa de pasaje fue mayor en el período 2 con el control pero con RM fue mayor en el período 1 (interacción tratamiento y período $P < 0.023$).

7 DISCUSIÓN

7.1 Características del consumo de alimento de cerdas alimentadas a libertad

Uno de los fenómenos que se pudo observar en la Figura 1, es que, cuando las cerdas son alimentadas a libertad, los consumos fluctúan de acuerdo al grado de saciedad o al apetito que pudieran haber desarrollado los animales (representado por los puntos azules). Esta fluctuación queda mejor ejemplificada con el comportamiento del consumo de una cerda seleccionada al azar con el tratamiento RM (línea negra), donde se observó que las cerdas regulan su consumo de acuerdo a su gusto o nivel de saciedad, ya que como lo muestra la gráfica, el consumo nunca llegó a ser constante a través del periodo experimental, provocando que sea muy difícil analizar la variación asociada al consumo de alimento a libertad en la gestación. No se observó ningún indicador que permita predecir el consumo de las cerdas cuando se alimentaron a libertad ya que este no estuvo asociado con la edad (por número de partos), o el peso corporal, ya que pueden comer lo mismo cerdas de primer y segundo parto que una de quinto o sexto parto.

Con RM se estimó una demanda mínima de consumo igual a 3.3 kg/día para el promedio de las cerdas (línea roja), dada una densidad energética de la dieta de 2.56 Mcal/kg de EM, pero como se puede observar en la Figura 1, el consumo sobrepasó esas expectativas. El 78 % de la población de cerdas alimentadas con RM consumieron más de la cantidad mínima que se esperaba con respecto a su peso, incluso dentro de los primeros siete días en que fue ofrecida y esto se puede

explicar por la gran capacidad gástrica que tienen las cerdas cuando consumen dietas altas en fibra (Brouns *et al* 1995).

Una forma de manejar la variación asociada al consumo de RM es promediando el consumo de alimento semanal. En la Figura 2 se puede observar cómo se comportó el consumo promedio de alimento por semana del día 42 al 105 de gestación. Cuando se ofreció la dieta control, el consumo se mantuvo constante durante toda la gestación, mientras que las cerdas alimentadas con RM tuvieron un incremento constante en el consumo durante los primeros 30 días; después del día 70 de gestación, el incremento en el consumo se llevó a cabo de manera menos significativa, hasta el día 90 de la gestación, donde se observó el efecto cuadrático del consumo, el cual disminuyó del día 90 al 105 de gestación.

El consumo promedio de alimento durante la gestación cuando se usó RM fue de 3.94 kg, el cual es cercano a los 3.79 kg/d de alimento reportado por van der Peet-Schwering *et al.* (2004) al ofrecer una dieta con 45.39 % de pulpa de remolacha (aproximadamente 2.62 Mcal de EM/kg y 33.64 % de FDN) durante el primer ciclo reproductivo usando cerdas de uno a más de cinco partos; después de tres ciclos reproductivos observó que el consumo se incrementó conforme avanzaban los ciclos, encontrando una interacción entre el número de partos. Cerdas de uno a cuatro partos tuvieron este comportamiento en el consumo, mientras que las cerdas de más de cinco partos tuvieron consumos similares durante esos tres ciclos reproductivos. El autor menciona que alrededor del tercer parto es cuando las cerdas alcanzan el máximo rango de consumo de alimento. En el caso de las cerdas alimentadas con RM no fue así, ya que no se alcanzó a distinguir una relación entre el número de partos o el peso de la cerda con respecto al consumo de alimento expresado durante la gestación, lo cual puede estar relacionado con la palatabilidad de la dieta, provocando que unas cerdas consuman mas alimento que otras. Las cerdas de primer parto tuvieron un consumo promedio de 3.85 kg/d con un rango máximo de 4.31 kg, un mínimo de 3.49 kg y un peso promedio de 190 kg, mientras que cerdas de quinto parto consumieron en promedio 3.80 kg/d

con un rango máximo de 5.02 kg, un mínimo de 3.15 kg y un peso promedio de 237 kg. Individualmente, la cerda que tuvo el mayor consumo registrado de todas fue una de 2 partos con un peso de 208 kg a la inseminación, que consumió 5.14 kg/día de alimento en promedio, mientras que la cerda más longeva (mayor a 6 partos) consumió en promedio 4.7 kg/d, teniendo un peso promedio de 218 kg a la inseminación. Por otra parte, la cerda que registró el mayor peso de todas era de quinto parto, tuvo un consumo promedio 3.2 kg/d y contaba con 258 kg al momento de la inseminación, mientras que la más liviana era de primer parto, consumió en promedio 3.7 kg/d contando con 171 kg a la inseminación.

En el trabajo publicado por Bergeron *et al.* (2000), reportaron consumos de alimento promedio de 7.3 kg/d al usar un alimento convencional de gestación ofrecido del día siete al 90 de gestación en cerdas de cuarto parto que tenían un peso promedio de 200 kg. El comportamiento del consumo disminuyó linealmente al final de la gestación ($P < 0.05$), siendo de 8.4, 7.3, 6.9 y 6.5 kg/d durante los períodos de los días 26, 47, 68 y 89, respectivamente. El consumo promedio de EM/d que tuvo durante ese período fue aproximadamente de 21.7 Mcal/día, el cual se excedió por 13.7 Mcal de EM/d con respecto al control. Cuando se ofreció la dieta con RM, también se encontró una tendencia a disminuir el consumo de alimento al final de la gestación, el cual pudo deberse a que el crecimiento de los productos de la concepción es mayor durante esa etapa de la gestación, y por lo tanto puede llegar a limitar la capacidad física de consumo de la cerda. Por esa razón es que se muestra una disminución del consumo de alimento en el último tercio de la gestación. Por otra parte a pesar de que las cerdas eran en promedio 21 kg más pesadas y consumieron más energía (1.35 Mcal/d de EM, con un rango máximo de 4.55 Mcal/d y un mínimo de -1.44 Mcal de EM/d) de lo que se había calculado para cubrir su requerimiento (8.7 Mcal de EM/d), nunca alcanzaron el consumo excedido reportado por Bergeron *et al.* (2000) de 13.67 Mcal/d de EM.

Brouns *et al.* (1995) evaluaron alimentación a libre acceso a cerdas vacías, pero sin que resultara en un consumo excesivo de nutrientes usando diferentes ingredientes fibrosos: pulpa de remolacha, paja de cebada, cascarilla de avena, malta de cebada, salvado de arroz o salvado de trigo. Las cerdas tenían de uno a seis partos con un peso promedio de 232 kg. Con los resultados se mostró que los ingredientes fibrosos aunque sean incluidos a las dietas en altas concentraciones, es difícil que limiten el consumo de alimento y de ED de las cerdas a cantidades aceptables. La única dieta con la que pudo controlar el consumo de alimento fue con la de pulpa de remolacha, que registró el menor consumo de alimento con respecto a las otras cinco dietas debido a que tenía un gran contenido de fibra soluble, la cual provoca que haya una mayor viscosidad intestinal provocando una menor velocidad de tránsito lo que repercute a su vez en una reducción del consumo. En el caso del presente experimento cuando se administró la dieta con RM a las cerdas gestantes, tampoco se pudo controlar el consumo excesivo de alimento, lo cual provocó que las cerdas tuvieran una ganancia de peso de 0.56 y 0.64 kg/día para las cerdas alimentadas con la dieta control o con RM respectivamente, durante los 63 días de período experimental. A pesar de que se encontró una mayor ganancia de peso cuando las cerdas se alimentaron a libre acceso con la dieta de RM, los milímetros de grasa dorsal acumulados durante ese período fueron numéricamente menores con respecto a la dieta control (2.57 vs 3.91 respectivamente), lo que indica que esa ganancia de peso extra pudo haber sido causado por un incremento en el peso del tracto gastrointestinal de las cerdas alimentadas con la dieta RM debido a la cantidad de fibra consumida (Kass *et al.*, 1980; Stanogias y Pearce, 1985; Pond *et al.*, 1988; Weenk *et al.*, 2001; Van der Peet Schwering *et al.*, 2003). Cabe mencionar que los altos consumos registrados por Brouns *et al.* (1995), fueron el promedio de 21 días de período experimental, mientras que en el presente trabajo, fueron 63 días de período experimental (del día 42 al 105 de gestación), del cual tardaron aproximadamente de 28 a 30 días en expresar su máximo consumo y aún así no se llegó a tener un consumo promedio mayor a 4.5 kg/cerda/día (Figura 2).

7.2 Desempeño productivo de la cerda durante la lactancia

A pesar de que las cerdas alimentadas con RM consumieron mucho más de la cantidad mínima de alimento que se esperaba con respecto a su peso, a diferencia de las que consumieron la dieta control, no se encontraron diferencias sobre el consumo de alimento durante la lactancia. Un consumo excesivo de nutrientes, principalmente de energía durante la gestación, provoca una disminución en el consumo de alimento durante la lactancia (Dourmad, 1991; Weldon *et al.*, 1994a; Xue *et al.*, 1997; Prunier *et al.*, 2001). La reducción en el consumo de alimento durante la lactación cuando hay un consumo excesivo durante la gestación, puede ser debido a bajas concentraciones de insulina en plasma durante la lactación temprana (Weldon *et al.*, 1994a). Xue *et al.* (1997), ofrecieron dos niveles de energía (11 Mcal de EM/d y 6.5 Mcal de EM/d) después del día 35 de gestación, en lactación se ofreció una dieta convencional a libre acceso. Las cerdas que consumieron las 11 Mcal/d de EM durante la gestación, tuvieron un menor consumo de alimento (3.21 vs 4.52 kg/d) y una mayor pérdida de peso durante la lactancia a diferencia de las cerdas control; el autor asoció este bajo consumo de alimento en lactación a un efecto de resistencia a insulina, el daño del estatus metabólico de la glucosa puede ser explicado por una reducción en la sensibilidad de las células β del páncreas a glucosa. Por otra parte Weldon *et al.* (1994), asignó al azar a cerdas gestantes a uno de dos tratamientos, ofreciendo una dieta convencional de gestación (maíz-soya) de forma restringida o a libre acceso después del día 50 de gestación, con el objetivo de evitar un posible incremento en la mortalidad embrionaria, la cual está asociada a un alto nivel de alimentación después del servicio. El consumo que tuvo con la dieta que se ofreció a libre acceso, fue de 3.72 kg/d lo que fue igual a 12.65 Mcal de EM/d; esto repercutió en la lactancia ya que el consumo de alimento durante esta etapa fue menor con respecto a las cerdas que tuvieron el consumo restringido (6.26 Mcal

de EM/d) durante la gestación, y por lo tanto, la pérdida de peso a través de los 28 días de lactancia fue mayor (34.7 vs 15.1 kg).

Dependiendo de su peso y el número de lechones lactantes, se estima que las cerdas requieren entre cinco a siete kg/d de una dieta maíz-soya para mantener su condición corporal, desafortunadamente, muchas cerdas no alcanzan a cubrir los requerimientos de consumo de alimento.

Por otra parte, la inclusión de fibra en la dieta de cerdas gestantes puede incrementar el consumo de alimento durante la lactación. Ewan *et al.* (1996) incluyó paja de trigo como fuente de fibra en la dieta de cerdas gestantes, en este experimento, las cerdas recibieron 1.8 kg/d de una dieta control (maíz-soya), o la misma dieta mas 0.3 kg de paja de trigo. Las cerdas alimentadas con paja de trigo durante la gestación consumieron mas alimento durante la lactación (5.66 vs 5.82 kg), lo cual resultó en un consumo de 550 kcal de EM más por día durante la lactación. Matte *et al.* (1994), compararon tres dietas basadas en avena-cascarilla de avena, salvado de trigo-mazorcas de maíz ó maíz-soya, y encontró que las cerdas alimentadas con la dieta de avena-cascarilla de avena durante la gestación, consumieron 5 % más alimento durante la lactación que las cerdas alimentadas con las otras dietas. Danielsen y Vestergaard. (2001), tuvieron resultados muy similares cuando alimentaron a cerdas con una dieta a base de cebada-soya comparada con dietas que incluían pulpa de remolacha o una combinación de cascarilla de avena, salvado de trigo y pasto verde. El consumo de alimento durante la lactación, fue alto para las cerdas alimentadas con la dieta que contenía pulpa de remolacha (6.2 kg/d) comparada con las cerdas alimentadas con las otras dos dietas. Las cerdas que se alimentaron con la dieta control y con la mezcla de los otros ingredientes fibrosos tuvieron un consumo similar durante la lactación (5.9 kg/d). Los autores teorizan, que la mejora en el consumo de alimento durante la lactancia de cerdas alimentadas con dietas fibrosas durante la gestación, fue debido a un incremento de la capacidad física u

otros cambios físicos del tracto gastrointestinal de las cerdas. Incrementando el consumo de alimento durante la lactancia, puede ser importante para el mantenimiento de la condición corporal en líneas genéticas nuevas, particularmente en el caso de cerdas primíparas, donde la pérdida de condición corporal durante la lactancia conduce a una futura falla reproductiva.

En el presente experimento, el uso de la dieta fibrosa no tuvo un fuerte impacto sobre el consumo de alimento en lactación, por lo cual no difirió al consumo que se tuvo con la dieta control; en la mayoría de los experimentos, donde se reporta un mayor consumo de alimento durante la lactación cuando se ofrecen dietas fibrosas en gestación, se cuida mucho el aporte de nutrientes, por lo tanto, el consumo que tienen las cerdas con esas dietas fibrosas es restringido a un cierto nivel de energía, el cual no sobrepasa por mucho la cantidad que necesitan las cerdas para mantenimiento de su gestación. A pesar de haber alimentado a las cerdas a libre acceso, por el alto nivel de fibra en la dieta, el consumo calculado de energía con RM fue mayor solamente por 1.92 Mcal de EM/día con respecto a la dieta control, provocando que el desafío de resistencia a insulina no fuera tan grave; esto probablemente ayudó a que no se viera afectado el consumo de alimento durante la lactancia siendo el mismo entre los dos tratamientos (5 kg/d en promedio); este nivel de consumo de alimento en lactación, evitó que hubiera diferencias significativas en la pérdida de peso de las cerdas en lactancia, que a pesar de existir una diferencia numérica entre tratamientos. El hecho de que la deposición de grasa dorsal durante la gestación haya sido la misma entre los tratamientos indica que, aun cuando el consumo de EM resultó mucho más alto de lo que se había calculado como requerimiento para las cerdas gestantes con RM, no hubo repercusiones graves en lactancia debido a que el potencial glicémico de las dietas (azúcares solubles + almidones) resultó ser menor con la dieta RM respecto al Control (1.36 vs 1.28 kg/d; $P < 0.0001$; Cuadro 3).

Como se mencionó anteriormente, la posible diferencia entre la ganancia de peso de las cerdas alimentadas con RM en gestación y la pérdida de está al destete,

pudo haber sido causado por la hipertrofia del tracto gastrointestinal durante el período de gestación, ya que no se encontraron diferencias en la deposición y pérdida de grasa dorsal al parto y al destete, ni para la ganancia de peso de la camada al destete. Van der Peet Schwering *et al.* (2003) calcularon que el llenado intestinal extra, causado por el uso de dietas fibrosas comparado con dietas a base de almidón durante la gestación, está por encima de los seis kg.

En el experimento de van der Peet-Schwering *et al.* (2004) se midió el efecto de una dieta alta en fibra (33.64 % de FDN y 19.45 % de FDA), administrada a libre acceso durante toda la gestación sobre los parámetros productivos y reproductivos de la pira durante tres ciclos reproductivos; los resultados obtenidos fue que las cerdas tuvieron un consumo promedio total de 4.2 kg/d contra los 2.88 kg/d de la dieta control (ofrecida de manera restringida), del cual se tuvo un consumo aproximado de 0.65 kg/d de azúcares solubles + almidones de la dieta fibrosa contra 0.85 kg/d de la dieta control, la ganancia de peso durante toda la gestación fue de 57.53 vs 75.86 kg, mientras que los mm de grasa dorsal ganados fueron de 6.03 vs 7.87 para las dietas control y fibrosa, respectivamente. A pesar de que existió un consumo mucho mayor con la dieta fibrosa, el consumo de alimento durante la lactancia no fue diferente entre tratamientos promediando 5.9 kg/d. Lo que sí se vio afectado en el período de lactación, fue la pérdida de peso y los mm de grasa dorsal por parte de las cerdas, siendo 8.82 vs 22.06 kg y 3.87 vs 8.60 mm de grasa para las dietas control y experimental respectivamente. Esta mayor pérdida de peso, fue asociada al crecimiento de los órganos del tracto gastrointestinal cuando se alimentó a las cerdas con dietas altas en fibra. Otra explicación que da acerca de la mayor pérdida de peso y mm de grasa dorsal que tuvo durante la lactancia cuando las cerdas consumieron la dieta fibrosa, fue que esa pérdida pudo haber sido provocada por la mayor cantidad de peso y grasa dorsal ganada con respecto a la dieta control. Yang *et al.* (1989) reportó que cerdas gordas o que ganaron mucho peso durante el periodo de gestación, pierden más peso y grasa corporal durante la lactancia que cerdas más delgadas.

7.3 Desempeño productivo de la camada durante la lactación

Una sobrealimentación de la cerda durante toda la gestación puede limitar el desarrollo de las glándulas mamarias, al estar ocupado el espacio físico necesario por depósitos de grasa; además aumenta el riesgo de que se presenten distocias y problemas locomotores, que pueden provocar la eliminación prematura de la cerda o el incremento del número de lechones nacidos muertos (Dourmad *et al.*, 1996). El consumo de alimento de las cerdas durante la lactancia generalmente es insuficiente para cubrir las demandas de mantenimiento del peso corporal y maximizar la producción de leche (Noblet *et al.*, 1990). Cuando el consumo es insuficiente de nutrientes durante la lactancia, se asocia con un prolongado intervalo destete-estro, bajas tasas de concepción en las subsecuentes camadas, bajo peso de los lechones al destete (Reese *et al.*, 1982; Cole, 1990; Xue *et al.*, 1997). Las bajas concentraciones de insulina en plasma son asociadas con una pobre secreción de la hormona luteinizante lo cual provoca que se alargue el intervalo destete-estro (Koketsu *et al.*, 1996). Los inadecuados consumos de alimento durante la lactancia, son evidentes particularmente en cerdas primíparas, cerdas alimentadas excesivamente durante la gestación y cerdas en un medio ambiente caluroso (NRC, 1998). En el presente trabajo, las cerdas primíparas que consumieron la dieta RM tuvieron un comportamiento productivo y reproductivo aceptable, el cual se encontró dentro de los parámetros reportados en el Cuadro 11, a pesar de que se excedió el nivel de consumo de EM durante la gestación por 1.8 Mcal/día. Los parámetros que tuvieron las cerdas primerizas fueron de: Consumo en lactación= 5.57 kg/día, lechones nacidos totales= 12, peso promedio de lechón nacido= 1.54 kg, lechones destetados= 9.2, peso promedio de lechón destetado= 6.12 kg, pérdida de peso de la cerda al destete= -18.4 kg y días de retorno al estro= 5.5

Con lo que respecta a las variables de productividad de la camada durante la lactancia no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos y no hubo

diferencia en los días de retorno a estro. Van der Peet Schwering *et al.* (2004), tampoco encontró diferencias en el total de lechones nacidos (13.57 vs 13.50), lechones nacidos muertos (0.64 vs 0.69), peso de los lechones al nacimiento (1.53 vs 1.54 kg) y al destete (8.36 vs 8.6 kg) y los días de retorno a estro (5.1 vs 4.73). Uno de los factores que afecta al intervalo destete-estro es la cantidad de reservas corporales movilizadas durante la lactación, por lo cual es importante el consumo de alimento en lactación (Whittemore, 1996). Sterning *et al.* (1990) observaron que cuando la pérdida de peso en lactación fue mayor del 7.5 % del peso corporal inicial, se incrementa el intervalo destete a estro en comparación con las de pérdidas de peso menores. Por otra parte, Xinfu *et al.* (2004), menciona que si las pérdidas de peso son mayores al 10 % del peso al parto, se compromete la respuesta productiva enseguida del destete. En el presente experimento, la pérdida de peso de las cerdas al destete con respecto al peso que tuvieron después del parto fue del 6.06 vs 7.90 %, mientras que la ganancia de peso con respecto al peso a la inseminación fue de 6.97 vs 7.27 % para las dietas control y RM respectivamente, lo cual se vio reflejado en los días de retorno a estro, donde no se encontraron diferencias entre tratamientos, promediando 5.25 días.

Varios experimentos han demostrado que el uso de niveles altos de fibra en la dieta de cerdas gestantes, no comprometen la eficiencia productiva y reproductiva de la cerda, e incluso pueden mejorar algunas de esas variables (van der Peet Schwering *et al.*, 2004; Holt *et al.*, 2006; Darroch *et al.*, 2008; Rentería *et al.*, 2008b; Quesnel *et al.*, 2009; Veum *et al.*, 2009; Guillment *et al.*, 2010).

Cuadro 11. Efecto del uso de distintos niveles de fibra en gestación sobre las variables productivas y reproductivas en lactancia.

	CEMG/d	FDN	FDA	GPG	CDAL	LNT	PLNT	LD	PLD	PPCL	PGDD	DRE
<i>Van der Peet Schwering et al., 2004^a</i>												
Control	5.87	.	.	57.5	5.91	13.60	1.53	12.2	7.8	- 8.8	3.9	5.1
Experimental	7.06	1.41	0.82	75.9	5.89	13.50	1.54	12.3	7.9	-22.1	5.7	4.7
<i>Holt et al., 2006</i>												
Control	7.33	0.17	0.06	34.1	7.40	11.70	1.50	9.7	6.4	+ 5.4	1.0	4.5
Experimental	7.41	0.50	0.78	29.9	7.50	10.80	1.50	9.9	6.4	+ 7.5	0.5	4.6
<i>Darroch et al., 2008</i>												
Control	5.99	0.17	.	44.0	5.91	11.03	1.57	8.7	6.5	+ 4.0	.	4.6
Experimental	6.00	0.39	.	47.0	6.11	11.03	1.54	9.2	6.3	+ 1.0	.	4.7
<i>Rentería et al., 2008</i>												
Control	6.70	0.18	0.06	20.9	5.85	11.75	1.55	9.9	5.4	-11.6	.	6.5
Experimental	6.49	0.39	0.20	16.0	6.00	11.40	1.50	9.7	5.6	-12.2	.	6.5
Experimental	5.86	0.42	0.26	18.5	6.20	11.90	1.40	9.9	5.2	- 9.4	.	6.1
<i>Quesnel et al., 2009</i>												
Control	8.48	0.41	0.08	63.6	6.25	13.40	1.24	11.7	5.67	-15.7	1.8	.
Experimental	8.60	0.86	0.31	64.4	7.19	12.80	1.26	11.7	6.08	-16.1	1.9	.
<i>Veum et al., 2009</i>												
Control	6.43	0.19	0.08	38.1	5.62	9.95	1.54	8.6	7.15	- 4.4	0.5	5.2
Experimental	6.43	0.44	0.24	38.6	5.99	11.16	1.55	9.1	7.10	- 5.1	0.6	4.9
<i>Guillment et al., 2010</i>												
Control	8.75	0.35	0.07	58.0	6.78	13.60	1.31	11.1	6.23	- 2.0	2.1	.
Experimental	9.49	0.90	0.32	62.0	6.22	11.20	1.45	10.3	6.70	-10.0	1.9	.

CEMG/d = Consumo de energía metabolizable durante la gestación, Mcal/d; FDN = Consumo FDN, kg/d; FDA = Consumo FDA, kg/d; GPG = Ganancia de peso durante la gestación, kg; CDAL = Consumo diario de alimento en lactación, kg/d; LNT = Lechones nacidos totales; PLNT = Peso promedio de lechones nacidos, kg; LD = Lechones destetados ; PLD = Peso de lechones destetados, kg; PPCL = Pérdida de peso de la cerda en lactación, kg (signo negativo = pérdida; signo positivo = ganancia); PGDD = Pérdida de grasa dorsal en al destete, mm; DRE = Días intervalo destete – estro

^a Consumo de alimento expresado en Mcal de EN/d

Como se observa en el Cuadro 6, a pesar de los distintos consumos de FDN que fueron desde 0.39 hasta 1.49 kg/d, no se encontraron repercusiones sobre las

variables productivas y reproductivas en la lactación cuando se comparan con un control. En el presente trabajo, el consumo de EM/d fue de 10.5 Mcal para la dieta RM y de 8.13 para la dieta Control, los cuales no son muy distintos a los reportados en los trabajos anteriores. La cantidad aproximada de kg consumidos por día de FDN y FDA en este experimento fue de 1.16 y 0.63 respectivamente para la dieta experimental y 0.28 y 0.08 para la dieta control, a pesar de eso, los resultados obtenidos en lactación para las variables antes descritas, se encuentran dentro de parámetros aceptables.

7.4 Comportamiento de la digestibilidad en los dos últimos tercios de la gestación

Se ha reportado que la digestibilidad de nutrientes es afectada por las características físicas y químicas del alimento (Lee Goff y Noblet, 2001), el procesamiento, factores exclusivos de cada animal y nivel de consumo de alimento (Noblet y Shi, 1994). La digestibilidad de E y MS es afectada por el nivel de fibra que contengan los ingredientes que la componen (Baer *et al.*, 1997). El efecto de la adición de la fibra sobre la digestibilidad de nutrientes, está influenciada por la composición de la fibra (Renteria *et al.*, 2008a), el procesamiento de la fibra después de la cosecha y la edad y estatus fisiológico del animal (Noblet y Shi, 1993). En el Cuadro 9 se observa la digestibilidad de MS, la cual fue 23 % menor cuando las cerdas consumieron la dieta con RM. Las cerdas alimentadas con la dieta RM tuvieron un consumo de MS mayor a 900 g, comparado con las cerdas alimentadas con la dieta control, pero al haber sido menor la digestibilidad en las cerdas alimentadas con la dieta RM, provocó que la MS digerida no fuese diferente entre tratamientos, promediando 1.9 kg/d, mientras que la excreción de MS en cerdas alimentadas con la dieta RM fue 900 g mayor comparado con el control (Cuadro 8). El hecho de que se comportaran diferente el consumo de MS y por lo tanto de nutrientes y E entre las dos dietas, fue porque

las cerdas alimentadas con el control tuvieron un consumo restringido, mientras que las alimentadas con RM tuvieron un consumo a libre acceso.

La digestibilidad de la E fue 20.48 % menor para RM con respecto al control, mientras que en el período, la digestibilidad se redujo linealmente (Cuadro 9). De acuerdo con Noblet y Shi (1993), el coeficiente de digestibilidad de la MS y la E de las dietas disminuye de forma linear cuando los niveles de FDN aumentan. El hecho de ofrecer la dieta con 30 % de RM, no limitó el consumo voluntario de alimento, pero por su baja digestibilidad (62 %), se tuvo un consumo aceptable de ED (8 Mcal/d), el cual se mantuvo dentro de los requerimientos de estas cerdas para mantenimiento de su gestación (NRC, 1998) y no provocó que hubiera excesos en el consumo de E que repercutieran a la productividad de la cerda. Al incluir niveles altos de fibra en la dieta, se da la oportunidad de ofrecer más alimento a la cerda, manteniendo su consumo diario de E a niveles deseados, a pesar de que tengan un consumo a libre acceso (Holt *et al.*, 2006). La mayor cantidad de E excretada en RM con respecto al control, fue reflejo de su menor digestibilidad. Las cerdas alimentadas con RM tuvieron un consumo mayor, pero la digestibilidad de E fue menor que con el control.

Para el N, la digestibilidad en la interacción fue similar en los periodos 1 y 2 del control, promediando 77.95 %, pero disminuyó más de 6 % en el periodo 3; con RM, la mayor digestibilidad se registró en el primer período (62.15 %) y disminuyó en más de 6 % en los otros dos períodos. Varios estudios reportan una reducción en la digestibilidad de N fecal cuando los niveles de fibra se incrementan en la dieta (Noblet y Le Goff, 2001). Sin embargo, el efecto más importante es relacionado a la excreción de proteína bacteriana. La E no recuperada como fibra en las heces puede ser transformada y excretada como proteína (Wilfart *et al.*, 2007). La excreción de N con la fibra insoluble se debe a una mayor excreción de proteína ligada a la pared celular de la planta, mientras que la fibra soluble se debe a una mayor excreción de N de origen microbiano. En diversos trabajos se ha reportado que las diferencias entre la excreción de N cuando se usan dietas

altas en fibra, se dan cuando se mide la excreción fecal, ya que la cantidad de N excretado en la orina generalmente es parecida, provocando que no haya diferencias significativas entre tratamientos (Rentería *et al.*, 2008; Glassi *et al.*, 2010).

En FDN, la digestibilidad fue menor en RM por más de 23 % con respecto al control; en el período 1 y 2 la digestibilidad promedió 51.2 % y se redujo hasta 43.7 % en el último período. El consumo y la excreción de FDN promedió 249.1 y 51.44 g/d en el control durante los tres períodos, mientras que para RM el consumo de FDN en el período 1 fue 247 g/d menor con respecto al promedio de los otros dos períodos. La cantidad digerida de FDN fue similar en el control durante los tres períodos pero para RM la mayor cantidad digerida se encontró en el periodo 2, siendo 124.9 g mayor con respecto al promedio de los otros dos períodos. La habilidad de los cerdos para digerir la fibra varía con la edad o el peso, siendo los animales adultos los más aptos para digerir este tipo de dietas debido a su tracto gastrointestinal más desarrollado y su mayor capacidad gástrica (Noblet y Shi, 1994; Le Goff *et al.*, 2002). A pesar de que la digestibilidad de FDN fue mayor en el control que en RM (60.44 contra 36.97 %), el consumo a libre acceso provocó que la cantidad de FDN digerida fuera mayor para RM con respecto al control (357 contra 148 g/d respectivamente).

Para FDA, la digestibilidad del control fue 31 % menor en el periodo 3 con respecto al promedio de los otros dos, mientras que para RM la digestibilidad promedio 29.6 % para los tres periodos. La FDA digerida fue mayor con la dieta RM y en el periodo se observó un comportamiento cuadrático, siendo intermedio el periodo 1, mayor en el periodo 2 y menor en el período 3. La FDA excretada en el control promedió 51.44 g /d en los tres periodos, mientras que para RM la cantidad excretada incrementó linealmente del período 1 al período 3.

Brouns *et al.* (1995) ofreció una dieta a libre acceso con 35.7 % de paja de cebada a cerdas de uno a seis partos con un peso promedio de 232 kg; la dieta contenía

40.5 % de FDN, 20.6 % de FDA y 4.2 Mcal de EB/kg. Al final de un período de tres semanas llegó a tener un consumo promedio de la dieta de 5.6 kg /d de MS; las digestibilidades que encontró para MS, E, proteína, FDN y FDA fueron de 58, 58, 69, 33 y 26 % respectivamente; esto tuvo un aporte de nutrientes digestibles por día de 3.5 kg de MS, 13.74 Mcal de ED, 533 g de PC, 748 g de FDN y 301 g de FDA. Sus resultados son muy parecidos a los que se obtuvieron en este trabajo, donde a pesar de que el consumo de MS fue muy elevado o muy bajo, la digestibilidad de nutrientes no difiere mucho a los resultados encontrados por Brouns *et al.*, (1995), teniendo una diferencia porcentual de las digestibilidades menor a 2.25, 4.26, 4 y 3.6 % para MS, E, FDN y FDA respectivamente. Tomando en cuenta que las cerdas utilizadas en el experimento de Brouns *et al.* (1995) alcanzaron un consumo de 5.6 kg/d contra los 3.9 kg registrados cuando se ofreció la dieta RM, considerando que esos 3.9 kg de consumo, son el resultado de un 15 % de restricción sobre el mayor consumo registrado antes de cada muestreo.

Con respecto a la tasa de pasaje, en el control fue normal (65.06 h), mientras que cuando las cerdas consumieron RM está se aceleró (52.03 h), provocando una menor digestibilidad de los nutrientes, lo cual puede ser explicado por la reducción en el tiempo en que estuvo expuesta la dieta a la digestión. La amplitud en la variación del rango de la tasa de pasaje en cerdos, puede ser debido a variaciones individuales de sensibilidad al estrés de inmovilización, provocada por estar alojados en jaulas individuales, la capacidad gástrica del animal y a su perístasis (Kim *et al.*, 2007). Stagonias y Pearce (1985), observaron rangos de tasa de pasaje de 22 a 85 h en cerdos en crecimiento, mientras que Le Goff *et al.* (2002) observaron rangos de tasa de pasaje de 75.9 a 54.7 h en cerdas de 250 kg, cuando usó una dieta control contra una alta en fibra respectivamente. El grado de degradación de la fibra está directamente relacionado al tiempo de retención en el tracto intestinal, en particular en el intestino grueso (Kass *et al.*, 1980; Revendrán *et al.*, 1984). La fibra de tipo insoluble disminuye el tiempo de tránsito intestinal

(Anderson, 1985), lo cual limita la digestión y absorción de nutrientes. La baja digestibilidad provocada por este tipo de fibras, explica el incremento del consumo de alimento, lo que provoca que aumente la cantidad de MS excretada en las heces y con eso el volumen fecal (Davidson y Mc Donald, 1998; Le Goff *et al.*, 2002), lo cual repercute directamente a la digestibilidad de nutrientes y energía de las dietas (Wilfart *et al.*, 2007; Rentería *et al.*, 2008a), provocando esa diferencia en las digestibilidades entre la dieta Control y la RM.

En el trabajo de Rentería *et al.* (2008a), se demostró que las dietas altas en fibra son aptas para usarse en la etapa de gestación, si se ajusta el consumo diario de nutrientes, ya que dependiendo de la composición química que tenga la fibra, va afectar la digestibilidad de la dieta, y el déficit energético que pueda tener el animal puede ser compensado por el incremento en el consumo de alimento. Como se esperaba, los resultados del presente experimento muestran una reducción en la digestibilidad de nutrientes y E cuando se usa una dieta con 30 % de RM, la cual fue compensada por el elevado consumo de alimento respecto al control; a pesar de que las cerdas tuvieron consumos excesivos de E durante los dos últimos tercios de la gestación, esto no afectó su desempeño productivo y reproductivo, ni mostraron problemas al parto y lactancia asociados a obesidad.

8 CONCLUSIONES

En cerdas alimentadas a libre acceso con RM hubo una gran variación (CV = 23.5%) en el consumo, el cual fue mayor a los 3.3 kg esperados en un 78 % de la población.

Aún cuando el consumo de EM resultó mucho más alto de lo que se había estimado como requerimiento en las cerdas gestantes que consumieron la dieta RM, no se encontraron repercusiones en la productividad durante la lactancia cuando se comparó con el control, debido a la baja digestibilidad de RM y probablemente a que el potencial glicémico (almidón + azúcares solubles) entre la dieta RM y control fue el mismo, lo cual ayudó a que el aporte de energía digerida no fuera tan excesivo para provocar problemas asociados con obesidad y resistencia a insulina en el post parto.

9 REVISION DE LITERATURA

1. Anderson JW. Physiological and metabolic effects of dietary fiber. Fed Proc 1985; 44: 2902-2906
2. Bach KKE. The nutritional significance of "dietary fibre" Analysis. Anim Feed Sci Technol 2001; 90:3-20
3. Baer JD, William VR, Carolyn W, Miles C, George C. Dietary Fiber Decreases the Metabolizable Energy Content and Nutrient Digestibility of Mixed Diets Fed to Humans J Nutr 1997; 127: 579–586
4. Bergeron R, Bolduc J, Ramonet Y, Meunier-Salaün, Robert S. Feeding motivation and stereotypes in pregnant sows fed increasing levels of fibre and/or food. Appl Anim Behav Sci 2000; 70: 27-40
5. Brouns F, Edwards SA, English PR. Effect of dietary fibre and feeding system on activity and oral behavior of group housed gilts. Appl Anim Behav Sci 1994; 39: 215-223
6. Brouns F, Edwards SA, English PR. Influence of fibrous feed ingredients on voluntary intake of dry sows. Anim Feed Sci Technol 1995; 54: 301-313
7. Brouns F, Edwards SA, English PR. The effect of dietary inclusion of sugar beet pulp on the feeding behaviour of dry sows. Anim Sci 1997; 65: 129-133
8. Calvert CC, Steele NC, Rosebrough RW. Digestibility of fiber components and reproductive performance of sows fed high levels of alfalfa. J Anim Sci 1985; 61: 595-602
9. Cassidy MM, Lightfoot FG, Gray LE, Story JA, Kntchevsky D, Vahouny GV. Effect of chronic intake of dietary fibers on the ultrastructural topography of rat jejunum and colon: A scanning electron microscopy study. Am J Clin 1984; 34: 218
10. Cisneros GF, Cuarón IJA. Monensina sódica y sulfato de cobre como mejoradores del valor nutritivo de dietas con rastrojo de maíz para cerdos. Tec Pecu Méx 1993^a; 31: 33-41
11. Cisneros GF, Cuarón IJA. Valor nutritivo del rastrojo de maíz en la alimentación del cerdo. Tec Pecu Méx 1993^b; 31: 42-50

12. Clark PM, Behnke KC, Poole DR. Effects of Marker Selection and Mix Time on the Coefficient of Variation (Mix Uniformity) of Broiler Feed. *J Appl Poult Res* 2007; 16: 464–470
13. Close WH, Noblet J, Heavens RP. Studies on the energy metabolism of pregnant sow 2. The partition and utilization of metabolizable energy intake in pregnant and non pregnant animals. *Br J Nutr* 1985; 53: 267-279
14. Cole, DJA. Nutritional strategies to optimize reproduction in pigs. *J. Reprod. Fertil. Suppl* 1990; 40:67
15. Collier RJ. Nutritional, metabolic, and environmental aspects of lactation. In: B. L. Larson (Ed.) *Lactation*. p 80. Iowa State University Press, Ames 1985
16. Coppari R, Ramadori G, Elmquist JK. The role of transcriptional regulators in central control of appetite and body weight. *Nature Clin Practice Endocrinol Metab* 2009; 5: 160-166
17. Cox NM. Control of follicular development and ovulation rate in pigs. *J Reprod Fertil Suppl* 1997; 52: 31-46
18. Cromwell GL, Hall DD, Clawson AJ, Combs GE, Knabe DA, Maxwell CV, Noland PR et al. Effects of additional feed during late gestation on performance of sows: A cooperative study. *J Anim Sci* 1989; 67: 3-14
19. Danielsen V, Vestregaard EM. Dietary fibre for pregnant sows: Effect on performance and behavior. *Anim Feed Sci Technol* 2001; 90: 71-80
20. Darroch CS, Dove CR, Maxwell CV, Johnson ZB, Southern LL. A regional evaluation of the effect of fiber type in gestation diets on sow reproductive performance. *J Anim Sci* 2008; 86: 1573–1578
21. Davidson MH, Mc Donald A. Fiber forms and functions. *Nutr Res* 1998; 18: 617-624
22. Dierick NA, Vervaeke IJ, Demeyer DI, Decuypere JA. Approach to the energetic importance of fibre digestion in pigs. I. Importance of fermentation in the overall energy supply. *Anim Feed Sci Technol* 1989; 23: 141-167
23. Dourmad JY. Effect of feeding level in the gilt during pregnancy on voluntary feed intake during lactation and changes in body composition during gestation and lactation. *Livest Prod Sci* 1991; 27:309–319

24. Dourmad JY, Etienne M, Prunier M, Noblet J. The effect of energy and protein intake of sows on their longevity: A review. *Livest Prod Sci* 1994; 40: 87-97
25. Dourmad JY, Etienne M, Prunier M, Noblet J. Reconstruction of body reserves in multiparous sows during pregnancy: Effect of energy intake during pregnancy and metabolism during the previous lactation. *J Anim Sci* 1996; 74: 2211-2219
26. Eastwood MA. The physiological effect of dietary fiber. *Annu Rev Nutr* 1992; 12: 19-35
27. Ewan RC, Crenshaw DJ, Crenshaw DT, Cromwell GL, Eastre RA, Nelssen JL, Miller ER, Pettigrew JE. Effect of addition of fiber to gestation diets on reproductive performance of sows. *J Anim Sci.* 1996; 74: 190
28. Ferrell CL, Jenkins TG. Cow type and the nutritional environment: Nutritional aspects. *J Anim Sci* 1985; 61:725
29. Ferrell CL. Energy metabolism. In: D. C. Church (Ed.) *The Ruminant Animal. Digestive Physiology and Nutrition.* p. 250; 1988
30. Gamble MS, Cook GA. Alteration of the apparent K_i of carnitine palmitoyltransferase for malonyl-CoA by the diabetic state and reversal by insulin. *J Biol Chem* 1985; 260:951
31. Glassi G, Colombini S, Malagutti L, Crovetto GM, Rapetti L. Effects of high fibre and low protein diets on performance, digestibility, nitrogen excretion and ammonia emission in the heavy pig. *Anim Feed Sci Technol* 2010; 161: 140-148
32. Gonzales CF, Peña RA y Robles EFJ. Producción y calidad de forraje del híbrido de maíz H-323 [resumen]. III Reunion Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Yucatan. 2008:69
33. Graham, H, and Aman P. Nutritional aspects of dietary fibres. *Anim. Feed Sci Technol.* 1991; 32:143
34. Guerin S, Ramonet Y, LeCloarec J, Meunier-Salaün MC, Bourguet P and Malbert CH. Changes in intragastric meal distribution are better predictors of gastric emptying rate in conscious pigs than are meal viscosity or dietary fibre concentration. *Brit J Nut* 2001; 85:343–350

35. Guillemet R, Guérin C, Richard F, Dourmad JY and Meunier-Salaün MC. Feed transition between gestation and lactation is exhibited earlier in sows fed a high-fiber diet during gestation. *J Anim Sci* 2010; 88:2637-2647
36. Hadley ME. Pancreatic hormones and metabolic regulation. In: Hadley ME (Ed.) *Endocrinology*. p 237. F'rentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ 1987
37. Hansen IK, Knudsen EB, Eggum BO. Gastrointestinal implications in the rat of wheat bran, oat bran and pea fiber. *Br J Nutr* 1992; 68:451
38. Hedemann MS, Eskildsen M, Laerke HN, Pedersen C, Lindberg JE, Laurinen P, *et al.* Intestinal morphology and enzymatic activity in newly weaned pigs fed contrasting fiber concentrations and fiber properties. *J Anim Sci* 2006; 84: 1375-1386
39. Holt JP, Jhonston JL, Baidoo KS, Shurson CG. Effects of a high-fiber diet and frequent feeding on behavior, reproductive performance, and nutrient digestibility in gestating sows. *J Anim Sci* 2006; 84: 946-955
40. Houpt KA, Houpt TR. Appetite and feeding behavior. *Swine Nutrition*. p 361. Butternorth-Heinemann, Stoneham MA, 1991
41. Jacobs LR, Lupton JR. Effect of dietary fibers on rat large bowel mucosal growth and cell proliferation. *Am J Physiol* 1984; 246: 378
42. Jin L. Modulation of feed intake by weanling pigs. Ph.D. Dissertation. North Dakota State University, Fargo. 1992.
43. Jin L, Reynolds LP, Redmer DA, Caton JS, Crenshaw JD. Effects of dietary fiber on intestinal growth, cell proliferation, and morphology in growing pigs. *J Anim Sci* 1994; 72: 2270-2278
44. Jindal R, Cosgrove JR, Foxcroft GR. Progesterone mediates nutritionally induced effects on embryonic survival in gilts. *J Anim Sci*. 1997; 75: 1063-1070
45. Jorgensen H, Jensen BB. The effect of dietary fiber on digestibility, microbial activity and microbial gas production in various regions of the gastrointestinal tract of pigs. *Appl Environ Microbiol* 1994; 60(6): 1897–1904
46. Jorgensen H, Xin QZ, Bjorn OE. The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract,

digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs. *Brit J Nut* 1996; 75: 365-378

47. Kass LM, Van Soest PJ, Pond WG, Lewis B, McDowell RE. Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. I. Apparent digestibility of diet components in specific segments of the gastrointestinal tract. *J Anim Sci* 1980; 50: 1
48. Kim BG, Lindemann MD, Cromwell GL, Balfagon L, Agudelo JH. The correlation between passage rate of digesta and dry matter digestibility in various stages of swine. *Livest Sci* 2007; 109:81-84
49. Koketsu Y, Dial GD, Pettigrew JE, Marsh WE, and King VL. Influence of imposed feed intake patterns during lactation on reproductive performance and on circulating levels of glucose, insulin, and luteinizing hormone in primiparous sows. *J Anim Sci* 1996; 74:1036
50. Kritchevsky D. Dietary fibre. *Annu Rev Nutr* 1988; 8: 301-328
51. Langhans W. Appetite regulation. In: Loblely GE White, A., MacRae JC (Eds.), *Protein Metabolism and Nutrition*, EAPP publication no. 96 Wageningen Pers., The Netherlands. 225-252. 1999
52. Lawrence AB, Terlouw EMC. A review of behavioral factors involved in the development and continued performance of stereotypic behaviors in pigs. *J Anim Sci* 1993; 71: 2815-2825
53. Le Goff y Noblet. Comparative digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *J Anim Sci* 2001; 79: 2418-2427
54. Le Goff G, van Milgen J and Noblet J. Influence of dietary fibre on digestive utilization and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows. *Anim Sci* 2002; 74: 503-515
55. Low AG. Role of dietary fibre in pig diets. Page 137 in *Recent Developments in Pig Nutrition 2*. DJA Cole, W Haresing and PC Gransworthy Eds. Nottingham University Press.1993
56. Marquez BSR, Malaga J, Ethridge DE, Mohanty S, Almaguer VG y Rindermann RS. Oferta del maíz y cambio tecnologico en México [resumen]. III Reunion Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Yucatan. 2008:255

57. Martin JE, Edwards SA. Feeding of behaviour outdoor sows: the effects of diet quantity and type. *Appl Anim Behav Sci* 1994; 41: 63-74
58. Matte JJ, Robert S, Girard CL, Farmer C, Martineau GP. Effects of bulky diets based on wheat bran or oat hulls on reproductive performance of sows during their first two parities. *J Anim Sci* 1994; 72: 1754- 1760
59. Mc Dougal GJ, Morrison IM, Stewart D, Hillman JR. Plant cell walls as dietary fibre: range, structure, processing and function. *J Sci Food Agric* 1996; 70: 133-150
60. Mc Glone JJ, Fullwood SD. Behavior, reproduction, and immunity of crated pregnant gilts: Effects of high dietary fiber and rearing environment. *J Anim Sci* 2001; 79: 1466–1474
61. Mejía GCA, Cuarón IJA, Rentería FJA, Braña VD, Mariscal LG y Gómez RS. Alimentación del hato reproductor porcino. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. INIFAP-SAGARPA. Libro Científico No. 1, Colón, Qro., México. 2007
62. Meunier-Salaün MC, Edwards SA, Robert S. Effect of dietary fiber on the behavior and health of the restricted-fed sow. *Anim Feed Technol* 2001; 90: 53-69
63. Moore RJ, Kornegay ET, Grayson RL, Lindemann MD. Growth, nutrient utilization and intestinal morphology of pigs fed high-fiber diets. *J Anim Sci* 1988; 66:1570
64. Mora GM. Evaluación de variedades de maíz para forraje en un suelo delgado del estado de Querétaro. III Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal. Yucatán. 2008:276
65. Mroz Z, Partridge LG, Mitchell G and Keal HD. The effect of oat hulls added to the basal ration for pregnant sows on reproductive performance, apparent digestibility, rate of passage and plasma parameters. *J Sci Food Agric* 1986; 37: 239-247
66. Müller HL, Kirchgessner M. Some aspects of energy utilization in pigs. *Pigs News Inf* 1985; 54: 14-20
67. Noblet J, Dourmad JY, Etienne M. Energy utilization in pregnant and lactating sows: modeling of energy requirements. *J Anim Sci* 1990; 68: 562-572

68. Noblet J, Dourmad JY, Etienne M, Le-Dividich J. Energy metabolism in pregnant sows and newborn pigs. *J Anim Sci* 1997; 75: 2708-2714
69. Noblet J, G Le Goff. Effect of dietary fiber on energy value of feeds for pigs. *Anim Feed Sci Technol* 2001; 90:35-52
70. Noblet, J. and Shi, X. S. 1993a. Comparative digestibility of energy and nutrients in growing pigs fed ad libitum and adult sows fed at maintenance. *Livest Prod Sci* 34: 137-152
71. Noblet, J. and Shi, X. S. 1993b. Contribution of the hindgut to digestion of diets in growing pigs and adult sows: effect of diet composition. *Livest Prod Sci* 34: 237-252
72. Noblet J y Shi XS. Effect of body weight on digestive utilization of energy and nutrients of ingredients and diets in pigs. *Livest Prod Sci* 1994; 37: 323 – 338
73. NRC. Nutrients Requirements of Swine. 10th revised. Washington DC. National Research Council, 1998
74. Pond WG, Ellis WC, James WD, Deswysen AG. Analysis of multiple markers in nutrition research. *J Dairy Sci* 1985; 68:745
75. Pond WG, Jung HG, Varel VH. Effect of dietary fiber on young genetically lean, obese and contemporary pigs: Body weight, carcass measurements, organ weights and digesta content. *J Anim Sci* 1988; 66: 699
76. Pond WG. Thoughts on fiber utilization in swine. *J Anim Sci* 1987; 65: 497-499
77. Prunier A, Meija GCA, Mourot J, and Quesnel H. Influence of feed intake during pregnancy and lactation on fat body reserve mobilization, plasma leptin and reproductive function of primiparous lactating sows. *Reprod. Nutr. Dev.* 2001; 41:333–347
78. Quesnel H, Pasquier A, Mounier AM, Prunier A. Influence of feed restriction during lactation on gonadotropic hormones and ovarian development in primiparous sows. *J Anim Sci* 1998; 76: 856-863
79. Quesnel H, Meunier-Salaün M-C, Hamard A, Guillemet R, Etienne M, Farmer C, Dourmad JY, Pere M-C. Dietary fiber for pregnant sows: Influence on sow physiology and performance during lactation. *J Anim Sci* 2009; 87: 532-543

80. Ramonet Y, Meunier-Salaun D, Dourmad JY. High-fiber diets in pregnant sows: digestive utilization and effects on the behavior of the animals. *J Anim Sci* 1999; 77: 591-599
81. Ramonet Y, Van Milgen J, Dourmad JY, Dubois S, Munier-Salaün MC, Noblet J. The effect of dietary fibre on energy utilization and partitioning over pregnancy in sows. *Br J Nutr* 2000; 84: 85-94
82. Ravindran V, Kornegay ET and Webb KE. Effects of fiber and virginiamycin on nutrient absorption, nutrient retention and rate of passage in growing swine. *J Anim Sci* 1984; 59:400-408
83. Reese DE, Moser BD, Peo ER, Lewis AJ, Zimmerman DR, Kinder JE, Stroup WW. Influence of energy intake during lactation on the interval from weaning to first estrus in sows. *J Anim Sci* 1982; 55: 590
84. Renteria FJA, Mejia JA, Cuaron JA. 2007. Estimación del peso después del parto en cerdas reproductoras. Manuscrito en preparación
85. Rentería FJA, Johnston LJ, Shurson GC, Gallaher DD. Effect of soluble and insoluble fiber on energy digestibility, nitrogen retention, and fiber digestibility of diets fed to gestating sows. *J Anim Sci* 2008a; 86: 2568-2575
86. Rentería FJA, Johnston LJ, Shurson GC, Moser RL, Webel SK. Effect of soluble and insoluble dietary fiber on embryo survival and sow performance. *J Anim Sci* 2008b; 86: 2576-2584
87. Rijnen MM JA, Heetkamp MJW, Verstegen MWA, Haaksma J, Schrama JW. Effects of dietary fermentable carbohydrates on physical activity and energy metabolism in group-housed sows. *J Anim Sci* 1999; 77: 182
88. Robert S, Matte JJ, Farmer C, Girard CL, Martineau GP. High-fibre diets for sows: effects on stereotypes and adjunctive drinking. *Appl Anim Behav Sci* 1993; 37: 297-309
89. Robert S, Rushen J, Farmer C. Both energy content and bulk of feed affect stereotypic behaviour, heart rate and feeding motivation of female pigs. *Appl Anim Behav Sci* 1997; 54: 161-171
90. Rodenburg W, Keijer J, Kramer E, Vink C, van der Meer R, Bovee-Oudenhoven IMJ. Impaired barrier function by dietary fructo-oligosaccharides (FOS) in rats is accompanied by increased colonic mitochondrial gene expression. *BMC Genomics* 2008; 9: 144–159
91. Schneeman BO, Gallaher D. Effects of dietary fiber on digestive enzyme activity and bile acids in the small intestine. *Proc Soc Exp Biol Med* 1985; 180: 409-414

92. Scheneman BO. Dietary fiber and gastrointestinal function. *Nutr Res* 1998; 18: 625-632
93. Southgate, D. Dietary fiber: chemistry, physical properties and analysis. In: H. Trowell, D Burkitt, and K Heaton (Ed) *Dietary Fiber*.1990 p 31. Academic Press, London.
94. Stanogias G and Pearce GR. The digestion of fibre by pigs. I. The effects of amount and type of fibre on apparent digestibility, nitrogen balance and rate of passage. *Brit J Nutr* 1985; 53, 513-530
95. Sterning M, Rydhmer L, Eliasson L, Einarsson S, Anderson K. A study on primiparous sows of the ability to show standing oestrus and to ovulate after weaning. Influence of loss of body weight and of litter size, litter weight gain and season. *Acta Vet Scand* 1990; 31: 227-236.
96. Terlouw EMC, Lawrence AB, Illius AW. Influences of feeding level and physical restriction on development of stereotypes in sows. *Anim Behav* 1991; 42: 981-991
97. Tippens EP. *Física conceptos y aplicaciones*. Mc Graw Hill. Tercera edición. 1992
98. Vahouny GV, Cassidy MM. Dietary fibers and absorption of nutrients. Pages 432-446 in *Porc. Soc. Exp. Biol. Med.* Anaheim, California USA, 1985.
99. van der Peet-Schewering CMC, Kemp B, Binnendijk GP, den Hartog LA, Spoolder HAM, and Verstegen MWA. Performance of sows fed high levels of nonstarch polysaccharides during gestation and lactation over three parities. *J Anim Sci* 2003; 81:2247–2258
100. van der Peet-Schewering CMC, Kemp B, Plagge JG, Vereijken PFG, den Hartog LA, Spoolder HAM and Verstegen MWA. Performance and individual feed intake characteristics of group-housed sows fed a nonstarch polysaccharides diet ad libitum during gestation over three parities. *J Anim Sci* 2004; 82:1246-1257
101. Varel VH, Pond GW. Enumeration and activity of cellulolytic bacteria from gestating swine fed various levels of dietary fiber. *Appl Environ Microbiol* 1985; 49: 858-862
102. Varel VH, Yen TJ. Microbial perspective on fiber utilization by swine. *J Anim Sci* 1997; 75: 2715-2722
103. Vestergem MWA, Verhagen JMF, Den-Hartog LA. Energy requirements of pig during pregnancy: a review. *Livest Prod Sci* 1987; 16: 75-89

104. Veum TL, Crenshaw JD, Crenshaw TD, Cromwell GL, Easter RA, Ewan RC, Nelssen JL, et al. The addition of ground wheat straw as a fiber source in the gestation diet of sows and the effect on sow and litter performance for three successive parities. *J Anim Sci* 2009; 87: 1003-1012
105. Weber TE, Kerr BJ. Metabolic effects of dietary sugar beet pulp or wheat bran in growing female pigs. *J Anim Sci* 2012; 90: 523 - 532
106. Weldon WC, Lewis AJ, Louis GF, Kovar JL, Giesemann MA, Miller PS. Postpartum hypophagia in primiparous sows: I. Effects of gestation feeding level on feed intake, feeding behaviour and plasma metabolite concentrations during lactation. *J Anim Sci* 1994; 72: 387-394
107. Weldon WC, Lewis AJ, Louis GF, Kovar JL, Miller PS. Postpartum hypophagia in primiparous sows: II. Effects of feeding level during gestation and exogenous insulin on lactation feed intake, glucose tolerance, and epinephrine-stimulated release of nonesterified fatty acids and glucose. *J Anim Sci* 1994; 72: 395-403
108. Wenk C. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Anim Feed Sci Technol* 2001; 90: 21-33
109. Whittaker X, Edwards SA, Spooler HAM, Lawrence AB, Corning S. Effects of straw bedding and high fibre diets on the behaviour of floor fed group-housed sows. *Appl Anim Behav Sci* 1999; 63: 25-39
110. Whittemore CT. Nutrition reproduction interaction in primiparous sows. *Livest Prod Sci* 1996; 46:65–83
111. Wilfart A, Montagne L, Simmins PH, van Milgen J, Noblet J. Sites of nutrient digestion in growing pigs: Effect of dietary fiber. *J Anim Sci* 2007; 85: 976-983
112. Willing BP, Van Kessel AG. Enterocyte proliferation and apoptosis in the caudal small intestine is influenced by the composition of colonizing commensal bacteria in the neonatal gnotobiotic pig. *J Anim Sci* 2007; 85: 3256-3266
113. Xue J, Koketsu Y, Dial GD, Pettigrew J, Sower A. Glucose tolerance, leuteinizing hormone release, and reproductive performance of first litter sows fed two levels of energy during gestation. *J Anim Sci* 1997; 75: 1845-1852
114. Yang H, Eastham PR, Philips P, and Whittemore CT. Reproductive performance, body weight and body condition of breeding sows with differing body fatness at parturition, differing nutrition during lactation and differing litter size. *Anim Prod* 1989; 48:181–201

115. Yen JT, Varel VH, Nienaber JA. Metabolic and microbial responses in western crossbred and Meishan growing pigs fed a high-fiber diet. *J Anim Sci* 2004; 1740-1755
116. Zak LJ, Cosgrove JR, Aherne FX, Foxcroft GR. Pattern of feed intake and associated metabolic and endocrine changes differentially affect post weaning fertility in primiparous sows. *J Anim Sci* 1997; 75: 208-216
117. Zebrowska T, Low AG, Zebrowska H. Studies on gastric digestion of protein and carbohydrate gastric secretion and exocrine pancreaticin growing pig. *Br J Nutr* 1983; 40: 401-410