

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

Ensilados de plátano-sorgo y embutidos para cerdas gestantes: digestibilidad y parámetros productivos

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
PRESENTA:

ABIGAIL BRAVO ALCÁNTARA

TUTOR: MARCO A. HERRADORA LOZANO
COMITÉ TUTORAL: LUIS CORONA GOCHI
GERARDO MARISCAL LANDÍN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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, Inocencio Bravo y Aurorita Alcántara, porque son la bendición más hermosa que dios me ha regalado, gracias por todo lo que me han brindado y sobre todo por su gran cariño el que siempre recuerdo con alegría, y porque el mejor aprendizaje lo he tenido de ustedes.

A mi abuelito Poncho, porque lo quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A dios, por haberme permitido llegar a estos momentos.

A la UNAM, por ser el “Alma Máter” de México y el lugar de mi formación académica y porque todos los que hemos estado en sus aulas nos sentimos orgullosamente “pumas”.

A mis hermanos, Juan Alberto y Laura, porque siempre he podido contar con su apoyo y cariño y sobre todo gracias por ser mis amigos.

A mis tíos, Eugenio Bravo y Rocío Amaya por brindarme su casa durante este tiempo.

Al doctor Marco Antonio Herradora Lozano, por ser no solo mi asesor sino por ser un gran amigo a quien realmente admiro por la calidad de ser humano que es, y por estar siempre dispuesto a ayudarme, mil gracias.

Al doctor, Luis Corona Gochi, por ser parte de mi comité tutorial y por su apoyo para que pudiera trabajar en el laboratorio de nutrición a lo largo de este trabajo

Al doctor Gerardo Mariscal Landín por ser parte de comité tutorial y por su disposición a ayudarme.

A los miembros del jurado, MC. Roberto Martínez Gamba, MPA. Marco A. Herradora Lozano, MC. Francisco Castrejón Pineda, Dra. Leonor Sangines y Dr. Fernando Pérez-Jil Romo.

Al director del CEIEPP de la FMVZ-UNAM, Roberto Martínez Rodríguez por su apoyo para realizar la prueba de campo.

Al personal del CEIEPP de la FMVZ-UNAM: Don Eriberto, Don Mateo, Sergio y Alberto, porque su ayuda fue elemental.

A las personas del laboratorio de nutrición: Agueda, Tere, Ladislao, Martín, Fer, Diana y Minelia por enseñarme y apoyarme en este trabajo.

Al muchacho Axel, contemporáneo de la maestría, mil gracias por la ayuda, las enseñanzas y la paciencia.

A mis compañeros de la maestría: Paula, Ariadna, Erika, José Luis “chiapaneco” y Erik, con quienes pase muchos momentos muy agradables e hicimos un excelente círculo de estudio.

A las chicas de la UAM, Jarumí y Paty a quienes tuve la oportunidad de conocer durante la prueba de campo, gracias por su apoyo y compañía.

Al proyecto PAPIIT No. 202108

RESUMEN

El presente estudio consistió en comparar la digestibilidad total en el tracto gastrointestinal (DTTGI), de dietas convencionales a base de sorgo-soya (SS), con dietas compuestas por SS más ensilado de plátano-sorgo (EPS) y ensilado de embutidos de ave (EEA) (prueba 1); así como evaluar el comportamiento productivo durante la gestación, de cerdas alimentadas con dichas dietas (prueba 2). Se implementaron 3 tratamientos: T1) dieta a base de SS; T2) SS + 5% EPS y 15% EEA; y T3) SS + 10% EPS y 30% EEA. En la prueba 1 se distribuyeron 6 cerdas híbridas, en un diseño de doble cuadrado latino 3x3 (3 tratamientos x 3 periodos), para determinar la digestibilidad de: materia seca (DMS), materia orgánica (DMO), proteína cruda (DPC) y energía bruta (DEB), en las tres dietas; empleando el óxido de cromo (al 0.2%), como indicador indigestible. Para la prueba 2, se distribuyeron 15 cerdas híbridas entre los tres tratamientos, en un arreglo completamente al azar, evaluando: peso corporal, grasa dorsal y composición corporal (agua, proteína y grasa), a los 21, 57 y 107 días de gestación (P21, P57 y P107; GD21, GD57 y GD107; AgC21, AgC57 y AgC107; PrC21, PrC57 y PrC107; y GrC21, GrC57 y GrC107). Al parto se registró el número de lechones nacidos totales (LNT), lechones nacidos vivos (LNV), peso de la camada al nacimiento (PCN) y peso promedio al nacimiento (PPN). El consumo de alimento se estableció con base en las necesidades de energía metabolizable de las cerdas, a partir del $PV^{0.75}$ e historial productivo (prueba 1); además de los criterios de condición corporal durante la gestación (prueba 2). La DTTGI para MS, MO, PC y EB, fue mayor ($P < 0.001$) en T1 con valores de 89.73, 91.74, 85.97, 86.04 %; en comparación a T2: 83.90, 87.03, 78.50, 77.59 %, y T3: 84.22, 87.19, 79.69, 77.64 %; respectivamente. Las variables relacionadas con el comportamiento productivo no presentaron diferencias ($P > 0.05$) entre los distintos tratamientos, por lo que se concluye que el uso de EPS y EEA son aptos para la alimentación de cerdas durante la etapa de gestación.

Palabras clave: Ensilados, digestibilidad, productividad, cerdas.

ABSTRACT

Present study was conducted to compare the total gastrointestinal tract digestibility (TGTD), of conventional diets sorghum-soybean base (SS), with combine diets of SS plus banana-sorghum silage (BSS) and poultry meat sausage silage (PSS) (Test 1); and to evaluate the productivity performance of sows during gestation, fed with the same diets (Test 2). Three treatments were carried out: T1) SS base diet; T2) SS + 5% BSS and 15% PSS; and T3) SS + 10% BSS and 30% PSS. In Test 1, six hybrid sows were allocated in a 3x3 double latin square design (3 treatments x 3 periods), to define digestibility of dry matter (DDM), organic matter (DOM), crude protein (DCP) and gross energy (DGE), on the three diets; using chromium oxide (at 0.2%) as marker. For Test 2, fifteen hybrid sows were assigned in a total randomly design, to assess body weight, back fat, body composition (water, protein and fat); at 21, 57, and 107 gestation days (BW21, BW57, and BW107; BF21, BF57, and BF107; W21, W57, and W107; P21, P57, and P107; and F21, F57, and F107). Total borne (TB), borne alive (BA), litter birth weight (LW), and average birth weight (AW), were recorded at farrow. Feed consume was statement on the metabolic energy requirements, from de $BW^{0.75}$ and productivity performance of the sow (Test 1); and on the corporal condition criteria during gestation (Test 2). TGTD for MS, MO, PC and EB, was higher ($P < 0.001$) in T1 with values of 89.73, 91.74, 85.97, 86.04 %; comparing with those of T2: 83.90, 87.03, 78.50, 77.59 %, and T3: 84.22, 87.19, 79.69, 77.64 %; respectively. Measure of productivity performance, did not showed differences ($P > 0.05$) between treatments; therefore BSS and PSS can be use to feeding sows during gestation.

Key words: Silages, digestibility, productivity, sows.

CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| Dedicatorias..... | I |
| Agradecimientos..... | II |
| Resumen..... | IV |
| Abstract..... | V |
| Contenido..... | VI |
| Lista de cuadros..... | IX |
| Lista de anexos..... | X |
| 1 Introducción..... | 1 |
| 2 Revisión de literatura..... | 7 |
| 2.1 Ensilados..... | 7 |
| 2.1.1 Principios básicos del proceso de ensilaje..... | 7 |
| 2.1.1.1 Acción de las enzimas de la planta..... | 8 |
| 2.1.1.2 Acción de los microorganismos..... | 9 |
| 2.1.2 Usos prácticos de los ensilados..... | 11 |
| 2.2 Digestibilidad..... | 15 |
| 2.2.1 Métodos con marcadores..... | 16 |
| 2.2.2 Digestibilidad aparente y digestibilidad verdadera..... | 20 |
| 2.2.3 Factores que afectan la digestibilidad..... | 25 |
| 2.3 Alternativas en la alimentación del cerdo..... | 33 |
| 2.4 Alimentación en cerdas gestantes..... | 38 |
| 3 Justificación | 42 |

| | Página |
|-------|--|
| 4 | Objetivos..... 43 |
| 5 | Hipótesis..... 43 |
| 6 | Material y métodos..... 44 |
| 6.1 | Prueba de digestibilidad..... 44 |
| 6.1.1 | Animales..... 44 |
| 6.1.2 | Alojamiento..... 44 |
| 6.1.3 | Dietas..... 45 |
| 6.1.4 | Procedimiento y toma de muestras..... 47 |
| 6.1.5 | Análisis químico..... 49 |
| 6.1.6 | Variables evaluadas..... 49 |
| 6.1.7 | Diseño experimental y análisis estadístico..... 51 |
| 6.2 | Prueba de comportamiento..... 52 |
| 6.2.1 | Animales..... 52 |
| 6.2.2 | Alojamiento..... 52 |
| 6.2.3 | Dietas..... 52 |
| 6.2.4 | Procedimiento durante la prueba..... 52 |
| 6.2.5 | Variables evaluadas..... 54 |
| 6.2.6 | Diseño experimental y análisis estadístico..... 56 |
| 7 | Resultados..... 58 |
| 7.1 | Prueba de digestibilidad..... 58 |
| 7.2 | Prueba de comportamiento..... 60 |
| 8 | Discusión..... 65 |

| | | Página |
|-----|-------------------------------|--------|
| 8.1 | Prueba de digestibilidad..... | 65 |
| 8.2 | Prueba de comportamiento..... | 69 |
| 9 | Conclusión..... | 75 |
| 10 | Anexos..... | 76 |
| 11 | Literatura citada..... | 82 |

LISTA DE CUADROS

| | Página |
|--|--------|
| Cuadro 1. Vías de fermentación más frecuentes en un ensilado, metabolitos producidos, mermas estimadas en materia seca (MS) y recuperación de energía química (EQ)..... | 11 |
| Cuadro 2. Coeficientes de digestibilidad aparente de la proteína cruda en el tracto total (%), para maíz, cebada, trigo, harina de soya, harina de canola y harina de carne y hueso, en cerdos de crecimiento, cerdas gestantes y lactantes..... | 24 |
| Cuadro 3. Contenido de carbohidratos en plátanos verdes y maduros..... | 36 |
| Cuadro 4. Distribución de carbohidratos solubles durante la maduración de las plátanos..... | 37 |
| Cuadro 5. Distribución de los tratamientos en un doble cuadrado latino, para la prueba de digestibilidad..... | 51 |
| Cuadro 6. Constantes para la determinación de la composición corporal de cerdas gestantes..... | 54 |
| Cuadro 7. Consumo, excreción fecal y digestibilidad de la materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC) y energía bruta (EB), de dietas sorgo-soya (SS), con la inclusión de ensilados de plátano-sorgo (EPS) y embutidos de ave (EEA), en cerdas gestantes..... | 59 |
| Cuadro 8. Consumo de materia seca (MS), energía metabolizable (EM) y proteína cruda (PC) por las cerdas de los tres tratamientos durante la gestación..... | 60 |
| Cuadro 9. Efecto de la inclusión de ensilados de plátano-sorgo (EPS) y embutidos de ave (EEA) en la dieta de cerdas gestantes, sobre el peso corporal (kg), la grasa dorsal (mm) y sus variaciones durante la gestación a los 21, 57 y 107 días..... | 62 |
| Cuadro 10. Efecto de la inclusión de ensilados de plátano-sorgo (EPS) y embutidos de ave (EEA) en la dieta de cerdas gestantes, sobre la composición corporal: agua (AgC), proteína (PrC) y grasa (GrC), a los 21, 57 y 107 días de gestación..... | 63 |
| Cuadro 11. Efecto de la inclusión de ensilados de plátano-sorgo (EPS) y embutido de ave (EEA) en la dieta de cerdas gestantes, sobre el comportamiento de la camada al nacimiento..... | 64 |

LISTA DE ANEXOS

| | | Página |
|---------|--|--------|
| Anexo 1 | Resultados del análisis químico proximal del ensilado de plátano (60%) y sorgo (40%) (EPS) referidos en base húmeda, base 90 y base 100..... | 76 |
| Anexo 2 | Resultados del análisis químico proximal del ensilado de embutidos de ave (EEA) referidos en base húmeda, base 90 y base 100..... | 77 |
| Anexo 3 | Ingredientes (en base húmeda) y aporte nutricional (en base seca), de las dietas correspondientes a los tratamientos 1, 2 y 3..... | 78 |
| Anexo 4 | Técnica para la determinación de NaCl | 79 |
| Anexo 5 | Distribución del horario de muestreo a lo largo de 3 días, durante la prueba de digestibilidad..... | 81 |
| Anexo 6 | Número de parto de las cerdas en los tres tratamientos, en la prueba de comportamiento..... | 81 |

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo, la producción y consumo de carne de cerdo han tenido un incremento notable en los últimos 40 años; de hecho, es la carne que más se consume a nivel mundial. Entre 1964 y 2004 se registró un incremento del 322.7 % (CMP, 2010).

De acuerdo con información de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), en 2004 se produjeron a nivel mundial 258 millones de toneladas métricas de carne de diferentes especies. De este total, 100.89 millones proviene de la especie porcina (FAO, 2004), esto significa que la carne de cerdo es la que ha tenido la mayor participación en la producción mundial de carnes, durante los últimos 30 años. En buena medida, esto es atribuible al significativo desarrollo tecnológico de la porcicultura en campos como la genética, la nutrición y el manejo, entre otros (CMP, 2010). Actualmente, el consumo *per cápita* de carne de cerdo en México es de 15.3 kilogramos, con lo que ocupa el lugar 17 a nivel mundial (CMP, 2010; SAGARPA, 2006).

La producción nacional de cerdo abarca 3 niveles: el nivel tecnificado, el cual está presente en el país con un 30% de la población porcina, y representa un 50% de la producción nacional; el semitecnificado, con un 25 a 30% de la pira nacional, produciendo entre un 20 y 30% de la carne; y el de menos tecnificación conocido como de traspatio, el cual tiene un fuerte impacto a nivel nacional, ya que representa un 40% del inventario nacional participando con el 20 al 30% de la producción de carne en el país (Bobadilla, *et al.*, 2010). Sin embargo, el país actualmente no alcanza a producir lo que realmente consume la población, y este hecho no se debe a la falta de participación de los productores nacionales, sino a que la porcicultura en México, se ha tenido que enfrentar a problemas del abasto de granos, así como a la competencia desleal del país vecino del norte; ya que el comercio de los productos del cerdo entre México y Estados Unidos de América (EUA), se ha incrementado notablemente a partir de la apertura y firma de acuerdos con Norteamérica.

Desgraciadamente en esta área el beneficio ha sido mayor en un solo sentido, lo que ha impactado y preocupado a los productores nacionales, ya que la mayoría de los productos cárnicos

comestibles de origen porcino, han sido introducidos al país con precios por debajo de los costos de producción mexicanos (Bobadilla, *et al.*, 2010), generando esto las desiguales condiciones de competencia, debido a que la producción de cerdos está ampliamente relacionada con la utilización de alta tecnología de vanguardia, y volúmenes elevados de cereales y fuentes de proteína, las que por lo general no se producen en cantidades suficientes y de manera rentable en los países subdesarrollados; esto ha generado, una fuerte dependencia de materias primas importadas (Argenti y Espinosa, 1999). De esta forma, el factor que más afecta a los productores de cerdos, es la alimentación, debido a que ésta representa aproximadamente el 75% de los costos de producción y es elaborada principalmente con materias primas de importación (>60%), originando con ello un mayor problema, al considerar las fluctuaciones del cambio monetario (Argenti y Espinosa, 1999).

Los productores mexicanos dependen esencialmente de los granos provenientes de otros países, principalmente de EUA; sin embargo, a partir del 2003 el consumo de maíz en ese país para elaborar etanol comenzó a registrar tasas explosivas de crecimiento, lo que augura un mercado firme para este producto. Las proyecciones actuales indican que para el año 2015, solo en EUA se consumirán 120 millones de toneladas de maíz para elaborar etanol (Westcott PC, 2007) y debido a que este país es el principal consumidor de energía del mundo, su gobierno se ha comprometido a acelerar el desarrollo de las energías renovables (Agencia Xinhua, 2008), por lo que en el 2010 destinó el 25% de los cultivos de maíz, a la producción de etanol. En los Estados Unidos de Norteamérica, se tienen registradas 97 plantas productoras de etanol con capacidad para 17 millones de litros, y existen otras más en construcción. Este continuo desarrollo de la industria del etanol, ha generado preocupación a nivel mundial, ya que esto puede significar un recorte en la oferta alimentaria, debido a la enorme demanda del sector energético que corresponde aproximadamente a unos 66 millones de kilos de maíz al año (La región ecoagro, 2006).

Por la magnitud de la inversión y por cuestiones ambientalistas, la Agencia de Protección Ambiental se encuentra ante el compromiso de fomentar el uso de combustible renovable en los EUA, con un programa de 36,000 millones de galones para antes de 2022 (Agencia Xinhua, 2008).

El etanol es un compuesto químico que puede utilizarse como combustible solo, o bien mezclado en cantidades variadas con gasolina, y su uso se ha extendido principalmente para reemplazar el consumo de derivados del petróleo. Para algunos, el etanol se perfila como un recurso energético potencialmente sostenible, que puede ofrecer ventajas medioambientales y económicas a largo plazo, en sustitución de los combustibles fósiles, mientras que para otros, es el responsable de grandes deforestaciones y del aumento del precio de los alimentos.

Los dos principales productores mundiales son EUA y Brasil, seguidos por China, India y Francia. Los EUA, junto con Brasil produjeron en el 2007 el 88% del etanol empleado como combustible a nivel mundial, y actualmente destilan el 70% de la producción mundial de este producto. Casi la totalidad del etanol estadounidense es producido a partir de maíz, cuya producción es menos eficiente en comparación con el etanol producido a partir de caña de azúcar. A pesar de que los Estados Unidos son el principal productor de etanol a nivel mundial, no es autosuficiente e importa etanol producido a partir de caña de azúcar de Brasil y de cuatro países de la cuenca del Caribe: Costa Rica, El Salvador, Jamaica y Trinidad y Tobago (Coyle, 2007).

Si el crecimiento de la industria de los bioenergéticos sigue el rumbo establecido, dentro de cuatro años el mundo deberá producir casi 100 millones más de toneladas de maíz, para sostener la actual situación de inventarios; si se mantiene el ritmo de la demanda, que sigue creciendo por nuevos usos energéticos, se necesitarán más de 800 millones de toneladas para sostener la actual situación de stock/consumo, esto sin considerar que la relación actual es la más baja de los últimos 30 años (Westcott, 2007).

Los problemas por los que atravesó la porcicultura en México en el año 2008, se debieron más que a especulaciones, a la situación de los granos a nivel mundial. En el año 2007 la FAO pronosticó una producción mundial de cereales inferior a lo obtenido en el 2006. La revisión a la baja, inició con las cosechas principales de trigo de diversas partes del mundo, que se vieron afectadas por las sequías, las cuales también afectaron a las cosechas de cereales secundarios (maíz, sorgo, cebada), particularmente el maíz en los EUA. En el mercado del maíz, los precios comenzaron a subir de forma pronunciada y en febrero de 2007 alcanzaron el nivel más alto en 10 años, a causa del considerable déficit de oferta debido a una demanda muy sólida para la

producción de etanol en los EUA. Los precios altos del maíz, combinados con el aumento de los precios del trigo, impulsaron los valores de la mayoría de los otros cereales forrajeros como la cebada y el sorgo, como consecuencia de la fuerte demanda de la Unión Europea (FAO, 2007).

Posteriormente y debido a los altos precios del maíz y a la fuerte demanda procedente de la industria de los biocombustibles, en los Estados Unidos de Norteamérica los productores destinaron mayor cantidad de tierra para la siembra de este cereal, recogiendo cosechas extraordinarias; sin embargo, como ya se menciono, la producción fue destinada en su mayoría para la industria energética, ya que el maíz es la principal materia prima destinada a la producción de etanol (FAO, 2007).

Los altos precios registrados por los cereales en el 2007, afectaron directamente el mercado de las oleaginosas, y tanto el maíz como la soya han experimentado una creciente demanda en los mercados para el consumo humano, a nivel pecuario y energético; esto ha traído como consecuencia, una fuerte competencia por la tierra, pues las necesidades en constante crecimiento de biocombustibles, han aumentado la demanda de aceites vegetales, principalmente los de soya, colza y palma (FAO, 2007). Aunado a esto, la superficie sembrada con soya ha descendido en EUA en más del 15 por ciento, ya que los agricultores han dedicado la tierra al cultivo del maíz, producto que ofrece ingresos más atractivos. Como consecuencia, se estima que la producción de soya disminuyó un 17 por ciento en los tres últimos años (FAO, 2010).

Todo esto afecta directamente a México ya que los principales productores de soya en el mundo son EUA, Brasil, Argentina y China; sin embargo, en cuestión de exportación Brasil ocupa el primer lugar, seguido de EUA y de Argentina, siendo el principal destino de esta oleaginosa la Unión Europea, dejando a México en ocasiones en espera del producto (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2010).

En el mismo periodo, la escasa existencia de trigo, agravada por la baja producción del año 2007, prevista en los principales países exportadores, principalmente Australia, mantuvieron los precios elevados. Los altos precios estuvieron acompañados de una extrema volatilidad, debido principalmente a las escasas existencias mundiales y a la falta de suministros exportables. La

disminución prevista en el uso de trigo para piensos se concentró principalmente en algunos países de la CEI (Comunidad de Estados Independientes), así como en Australia, Canadá y la Unión Europea (FAO, 2007).

Por tales razones, según la FAO, el mundo aún no se recupera de la crisis alimentaria que ha golpeado a 52 millones de personas sólo en Latinoamérica, ya que el precio de alimentos básicos se encareció un 45%. En el 2008, los cereales aumentaron su precio en 41%, mientras que los aceites vegetales un 60% y los productos lácteos 83% (Pérez, 2008). Según el Programa Mundial para la Alimentación (PMA), las reservas mundiales de alimentos disminuyeron en el periodo 2007/2008 al nivel más bajo de los últimos 30 años y amenazaron con el hambre a unas 100 millones de personas, según la FAO y el PMA, la crisis alimentaria afectó a más de 850 millones de personas en África, Asia y Latinoamérica principalmente, aumentando las cifras de hambre y desnutrición.

Desde hace unos años, ha sido mucho el interés por los cambios climáticos que se han registrado en diferentes partes del mundo, lo que hace pensar que existen una serie de factores que empujan a todo el planeta a una grave crisis alimentaria: uno es el calentamiento global que está afectando negativamente la producción con sequías e inundaciones y otro han sido las malas cosechas. Todo esto generó en años anteriores una reducción de los *stocks* de reserva, que generalmente representaban el 30% del abastecimiento mundial, estos *stocks* bajaron a un 25% y lo más probable es que una vez que estén establecidas más plantas para producir biocombustibles, sigan bajando (Pérez, 2008).

Para el año 2010, las cosas cambiaron, ya que una menor demanda y la abundancia de suministros, continúan ejerciendo una presión a la baja sobre los precios internacionales de los principales cereales secundarios, esto debido a una cosecha sin precedentes en los EUA, y por una expansión relativamente lenta en la demanda proveniente del sector bioenergético, por lo que en los mercados los precios han bajado presionados por la baja de precios del crudo, lo que ha ocasionado un descenso del 13% por tonelada de maíz proveniente de EUA. En cuanto a las oleaginosas se ha mantenido tanto la producción como los precios (FAO, 2010).

Debido a la crisis económica, principalmente medianos y pequeños productores, han buscado la manera de alimentar a sus cerdos con materias primas alternativas y nacionales, encontrando fuentes alternas de proteína y energía, tanto para los granos como para la pasta de soya, aunque es probable que se requiera un mayor tiempo para alcanzar el peso a rastro, pero a un menor costo, lo cual se ve traducido en una mayor rentabilidad, menor fuga de divisas y un autoabastecimiento que significaría en realidad dejar de ser financiadores de agriculturas extranjeras, pero sobre todo ser menos dependientes (Argenti y Espinoza, 1999).

Estas alternativas pueden incluir ingredientes con mayores aportes de fibra, mismos que tienden a ser más económicos, en comparación a los granos y la soya; tal es el caso de los subproductos de granos (salvados y salvadillos) (Le Goff *et al.*, 2002b), derivados de la destilería (DDGS y HPDDGS) (Pérez, 2008), y también pueden incluirse los ensilados de frutas (plátano, manzana) (Ly, 2004; Nikolic y Jovanovic., 1986). Un beneficio adicional con el uso de dietas altas en fibra, en comparación a dietas convencionales, es el efecto de saciedad en las cerdas gestantes (Ramonet *et al.*, 2000).

En algunos países sudamericanos, europeos y asiáticos, se han buscado fuentes alternas de energía y proteína, con el objeto de sustituir el porcentaje de inclusión de maíz y soya, y reducir con ello los costos de producción. Tal es el caso de Venezuela y Colombia, en donde se han llevado a cabo experimentos con el empleo de materias primas no tradicionales, para la alimentación de cerdos principalmente de engorda, algunos de estos productos son: camote (*Ipomoea batata*), yuca (*Manihot esculenta*), jícama (*Pachyrhizus erosus*), plátano (*Musa sapientum sp.*, y subproductos de pescado, entre otros (Argenti y Espinosa, 1999).

Aunque las perspectivas para la producción de granos y oleaginosas ha mejorado, es necesario contar con alternativas para la alimentación de los cerdos y saber cómo emplearlas, ya que no sería extraño que ocurrieran otras crisis alimentarias, una manera de incorporar algunos productos alternos en la alimentación de los cerdos, es a través de la técnica del ensilaje la cual es fácil de desarrollar, económica y puede traer consigo algunos beneficios extras a partir de los productos de la fermentación.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Ensilados

De acuerdo con Cañeque y Sancha, (1998), un ensilado consiste en la conservación de forrajes frescos u otros alimentos con elevado contenido de humedad, en reservorios llamados silos.

El fin esencial del ensilado, es conservar los forrajes con un mínimo de pérdida de materia seca (MS) y de nutrientes, manteniendo buena aceptación y sin que se produzcan sustancias que puedan ser tóxicas para la salud animal. El interés primordial radica en conservar aquellos alimentos que por su naturaleza no pueden ser henificados o desecados. Por otra parte, el ensilado permite, aprovechar el superávit de forrajes o alimentos húmedos producido durante la primavera-otoño, para que se suministren en las épocas de escasez (invierno).

Cañeque y Sancha, (1998) señalan aspectos relevantes a ser considerados en una producción exitosa de ensilados, tales como: los principios básicos del proceso de ensilaje, la acción de las enzimas de la planta y la acción de los microorganismos.

2.1.1 Principios básicos del proceso de ensilaje

El alimento prensado en el interior del silo experimenta una serie de transformaciones bioquímicas que permiten su conservación en el tiempo, siendo necesarias dos condiciones para lograr un ensilado de alta calidad:

- 1.- Conseguir mantener el silo en condiciones de anaerobiosis, para evitar el desarrollo de microorganismos aerobios putrefactivos. Para ello es necesario hacer un llenado rápido del silo y cubrirlo con un plástico.
- 2.- Impedir el desarrollo de la flora butírica, ya que descompone los aminoácidos en amoníaco, anhídrido carbónico, ácidos grasos volátiles y en ciertos compuestos nitrogenados como las aminas, que pueden ser tóxicas.

Para entender la importancia de estas condiciones es necesario analizar los procesos químico-biológicos que se desarrollan en el forraje cuando es ensilado.

2.1.1.1 Acción de las enzimas de la planta

Las enzimas son elementos químicos contenidos en las plantas, que tienen la propiedad de disociar los constituyentes de los vegetales en otros más simples. En el caso de los ensilados su acción tiene lugar sobre los procesos respiratorios y sobre la descomposición de glúcidos y proteínas.

-Respiración celular.- El forraje en el silo continúa respirando, absorbiendo oxígeno y eliminando anhídrido carbónico, con desprendimiento de calor. Esta respiración ocasiona una pérdida de materia seca muy digestible y sobre todo reduce el contenido de azúcares de la planta, lo que perjudica el desarrollo de la flora benéfica del ensilado, la flora láctica. Por ello es conveniente limitar la respiración y por tanto, llenar, apisonar y cerrar rápidamente el silo.

-Hidrólisis de glúcidos.- Los glúcidos solubles (azúcares simples y fructosanos) de los forrajes y alimentos que se ensilan y que representan entre 5 y 25% de su materia seca, son rápidamente hidrolizados por acción de las enzimas en glucosa y fructosa, junto con los ácidos orgánicos cítrico y málico, que son las principales fuentes de energía de los microorganismos, en especial de las bacterias lácticas.

El almidón de los cereales es hidrolizado en maltosa por acción de amilasas para que puedan ser utilizadas por la flora láctica.

-Hidrólisis de proteínas.- Las enzimas proteasas hidrolizan las proteínas vegetales en péptidos y aminoácidos, esta proteólisis disminuye a medida que el medio se acidifica y se detiene cuando el pH desciende por debajo de 4, lo que explica porque el contenido en nitrógeno soluble es mayor que el de la planta verde, pudiendo representar más del 50% del nitrógeno total.

2.1.1.2 Acción de los microorganismos

Durante el proceso de ensilaje y por la acción de las enzimas de la planta, se desarrollan microorganismos presentes en la superficie del forraje, empleando como sustrato nutritivo, el jugo liberado por las células vegetales que mueren por falta de oxígeno (plasmólisis).

Conforme disminuye el oxígeno desaparecen las bacterias aerobias estrictas dando lugar a que se establezcan las bacterias anaerobias. Las primeras en desarrollarse son las bacterias coliformes (bacterias anaerobias facultativas), estas bacterias transforman los azúcares en ácido acético y anhídrido carbónico, también degradan los aminoácidos en amoníaco y ácidos grasos volátiles (AGV's) o en aminas. Sin embargo, su acción es de corta duración pues detienen su desarrollo cuando el pH desciende por debajo de 4.5, el cual se alcanza rápidamente al desarrollarse la flora láctica.

En segundo lugar se desarrollan las bacterias lácticas, microorganismos anaerobios estrictos, poco numerosos en un principio pero que se multiplican rápidamente, constituyendo en menos de ocho días casi la totalidad de la flora del ensilado. Para que esto se logre, deben encontrarse las condiciones favorables para su desarrollo, tales como: ausencia total de oxígeno y presencia de azúcares en cantidades suficiente que sean liberados rápidamente.

La temperatura que alcanza una fermentación láctica es llamada "fermentación fría" debido al poco calor generado, lo que la hace más eficiente, pues no se pierde energía en forma de calor (Woolford, 1992).

El desarrollo de las bacterias lácticas tiene lugar en condiciones de pH entre 4.5 y 6.0, deteniéndose su actividad a un pH entre 3.8 y 3.2. Estas bacterias transforman los azúcares en ácido láctico con rendimiento diferente según sean, homofermentativas que producen únicamente ácido láctico o heterofermentativas que producen poco ácido láctico, además de originar productos indeseables como alcohol, CO₂, ácido acético y manitol. La producción de ácido láctico para bajar el pH a 4 depende de la proporción en que se encuentren las bacterias homo y heterofermentativas y de la naturaleza inicial de los azúcares (Cañeque y Sancha 1998).

Para lograr rápidamente un pH óptimo, se pueden agregar soluciones de ácidos orgánicos, los que ayuda a evitar la proliferación de bacterias indeseables en el ensilado, pues la mayoría de las especies bacterianas tienen su pH óptimo en la región de la neutralidad, lo que hace que por debajo de un pH de 4.2 no puedan desarrollarse. Entre las bacterias más ácido tolerantes están las del género *Lactobacillus spp.*, siendo deseable que se generen dentro del ensilado, y los *Clostridium butyricum* que son totalmente indeseables, estos géneros crecen por debajo de un pH de 3.5. Otros microorganismos que también son indeseables son los hongos y las levaduras, los cuales pueden desarrollarse en una escala de pH de 6.0 a 2.0 o incluso menos. Se han llevado a cabo diferentes estudios en los que se ha podido notar ciertas ventajas al emplear el proceso de ensilaje: Slywester y Wartenberg (1968) citado por Tibbetts *et al.*, (1981) encontraron que *C. botulinum* tipo E fue destruido por el proceso biológico de la fermentación; Martínez, *et al.*, (2001) demostraron que este método destruye bacterias coliformes como *Escherichia coli* y *Salmonella choleraesuis*, pero además inactiva agentes virales como los causantes de la enfermedad de Aujeszky y de la enfermedad del ojo azul.

La fermentación debida a mohos y levaduras tiene lugar en el caso de introducción de oxígeno en el interior del ensilado. La degradación por estos agentes eleva la temperatura y el pH del ensilado, lo que provoca pérdidas de materia seca y convierte al ensilado en un producto poco apetecible e incluso tóxico. El desarrollo de estos organismos puede ser evitado mediante el empleo de ácido butírico o propiónico (Cañeque y Sancha 1998), este último es activo a concentraciones inferiores a 0.08 N y es eficaz en su acción inhibitoria a un pH de 6.0 o 7.0 (Hersom, 1980).

Una vez que la cantidad de ácido láctico formado es suficiente para que el pH descienda por debajo de 4, se inhibe totalmente la actividad y desarrollo de las bacterias, incluidas las lácticas, así como la acción de las enzimas proteolíticas de la planta, llegando a una estabilidad en el ensilado que permite su conservación casi indefinida, siempre que no haya una entrada de oxígeno (Cañeque y Sancha, 1998).

En el Cuadro 1 se muestran las diferentes vías de fermentación que pueden darse dentro de un ensilado y los metabolitos que se generan, además de las mermas que pueden ocurrir en la materia seca y en la energía, lo que está representado por la recuperación de energía química.

Cuadro 1. Vías de fermentación más frecuentes en un ensilado, metabolitos producidos, mermas estimadas en materia seca (MS) y recuperación de energía química (EQ).

| Microorganismo | Recuperación (%) | |
|---|------------------|----|
| | MS | EQ |
| Bacterias HOMOFERMENTATIVAS 1 glucosa \longrightarrow 2 ácido láctico | 100 | 97 |
| Bacterias HETEROFERMENTATIVAS 1 glucosa \longrightarrow 1 ácido láctico + 1 Etanol + 1 CO ₂ | 76 | 97 |
| 3 fructuosa \longrightarrow 1 ácido láctico + 2 Manitol + 1 ácido acético + 1 CO ₂ | 76 | 97 |
| Bacterias del género CLOSTRIDIA 2 ácido láctico \longrightarrow 1 ácido butírico + 2 CO ₂ + 2 H ₂ | 49 | 81 |
| 2 alanina \longrightarrow 2 ácido propionico + 2 ácido acético + 2 H ₂ + 1 CO ₂ | 78 | 81 |
| LEVADURAS 1 glucosa \longrightarrow 2 Etanol + 1 CO ₂ | 76 | 97 |

Adaptado de Woolford (1998).

2.1.2 Usos prácticos de los ensilados

La técnica de ensilaje se ha empleado desde la década de los 70's con la finalidad de incorporar fuentes no tradicionales en la alimentación de ganado; por ejemplo, en la alimentación de cerdos de crecimiento se han evaluado diferentes alternativas de alimentación, con la finalidad de sustituir en la medida de lo posible, el empleo de cereales o de harinas de leguminosas. El manejo de ensilados como ya se mencionó, se ha empleado desde hace tiempo, como una alternativa de conservación con la finalidad de aprovechar materiales prácticamente de desecho. Tal es el caso del uso de ensilado de pescado que se ha empleado con la finalidad sustituir parte de la proteína

en las dietas, esto es posible ya que usualmente durante la pesca se obtienen peces no aptos para el consumo humano, convirtiéndose en basura; por lo que el interés para el desarrollo de técnicas que permitan el uso de ésta fauna va en aumento (Tatterson, 1982; Gorman and Chvojka, 1983; Trombetta *et al.*, 2006).

El ensilado de pescado puede ser descrito como un producto líquido, el cual se desarrolla cuando el pescado completo o parte del pescado es tratado con un ácido, el cual ayuda a crear las condiciones para limitar el crecimiento de bacterias de putrefacción. Desde antes de los años 80's, el ensilado de pescado ha sido usado en algunos países de los cuales Dinamarca, Noruega y Polonia han sido quizás donde más se ha empleado (Tatterson, 1982).

Para la preservación de ensilados de tipo líquido, se ha empleado el ácido fórmico, ya que éste produce ensilados poco ácidos que no requieren neutralización para poderse emplear. Una importante consideración al elegir la mezcla de ácido, es que no solo pueda prevenir el crecimiento de bacterias de putrefacción, sino de bacterias patógenas, tales como *Salmonella* spp. y *Clostridium botulinum*. En el Reino Unido para la preservación de ensilados de este tipo se ha utilizado una solución de 85% ácido fórmico, ya que ninguno de los organismos mencionados puede multiplicarse a pH menores de 4.5 logrados con ácido fórmico, pero es bueno alcanzar un límite de seguridad de un pH 4.0 en el producto final.

La preparación de este tipo de ensilados es fácil y no se requiere de muchos productos, Tatterson (1982) menciona que para el ensilado de pescado, los desechos son picados y se les agrega la cantidad requerida de ácido, se mezcla todo perfectamente, y se coloca en contenedores que resistan el ácido, se sellan y se ponen en un lugar templado para ser usados mínimo después de 2 semanas (Myer, *et al.*, 1990).

El ensilado de diferentes especies de pescado y desperdicios de langostino, y su efecto sobre el comportamiento productivo de cerdos de crecimiento, fue investigado por Gorman and Chvojka (1983), las dietas usadas fueron formuladas en base a trigo y el ensilado de pescado reemplazó la harina de soya parcial o totalmente. Al ser usado como suplemento de proteína, se observó que el ensilado de pescado mejoró el índice de crecimiento y de conversión alimenticia,

en cerdos de la etapa de 20 a 45kg de peso; sin embargo, el uso de ensilados de este tipo puede no dar los mejores resultados, ya que al compararlos con suplementos de proteína convencional, el ensilado de pescado tiende a registrar un comportamiento inconsistente. Sin embargo, el proceso de ensilaje ofrece la utilización potencial de desechos de la industria de pescado, aún cuando la producción de harina de pescado parecería ser el uso más lógico para estos productos, los elevados costos económicos y ecológicos de deshidratado y procesado, reducen su potencial (Tibbetts *et al.*, 1981). En áreas donde la cantidad de material de desecho es insuficiente para justificar la producción de la harina, hace al ensilado una buena opción de conservación.

El empleo de esta técnica se ha llevado a cabo también para reducir los costos de alimentación, pues estos representan los mayores componentes de los costos de producción, por tal motivo es importante hacer uso de las fuentes de alimentación local, y así reducir costos (Giang *et al.*, (2004).

En algunos países como Vietnam (Giang *et al.*, 2004), la producción de camote está ligada altamente con la producción del cerdo. En el contexto de los sistemas cerdo-camote, los cerdos tienen funciones de gran importancia para los hogares rurales: ellos generan liquidez e ingresos a través de ofertas de mercado; proveen de estiércol para el mantenimiento y mejora de la fertilidad del suelo; y convierten lo generalmente indeseable y de bajo valor del camote, en alimento altamente deseable o en mercancía vendible (Peters, 1998). De esta manera es posible disponer de alimento para los cerdos en varias épocas del año, a través de la implementación y uso de los ensilados.

Tradicionalmente, los sistemas de alimentación fermentada se han desarrollado en áreas donde los subproductos de la industria alimentaria humana o disponibilidad de desechos, son o fueron abundantes y baratos; sin embargo, aquellos productores que no tienen acceso a sub productos alimenticios en países desarrollados, pueden también ganar ventajas similares por usar los llamados alimentos líquidos fermentados.

En Dinamarca, se ha implementado el uso de estas dietas líquidas fermentadas para la alimentación de cerdos. Este alimento líquido ha sido definido como una mezcla de agua y

alimento, almacenado en tanques a una temperatura determinada por un tiempo preestablecido (Miguel y Pettigrew, 2005).

Por otra parte si los cereales son mezclados con agua, después de 24 horas casi todo el fosforo ligado al fitato es liberado. Esto tiene la ventaja de que la cantidad de fósforo que es necesario adicionar en la dieta, pueda ser reducida y subsecuentemente el contenido de fosfato del estiércol sea menor. Cuando los cereales son remojados, naturalmente se producen las bacterias ácido lácticas creando una fermentación espontanea; y en circunstancias ideales, la fermentación genera cantidades significativas de ácido láctico, lo que favorece la eliminación de bacterias enteropatógenas como *Salmonella spp*, *E. coli* y *Lawsonia intracelularis* de las dietas y puede reducir la incidencia de problemas de salud causados por aquellos organismos en el cerdo. La fermentación generalmente mejora la digestibilidad de la MS y de la proteína de las dietas hasta en un 3 y 8% respectivamente, pero también es probable que los cambios bioquímicos producidos por la fermentación produzcan una dieta que sea menos balanceada (Brooks, 2009).

Aunque se tiene conocimiento del empleo de ensilados en la alimentación de los cerdos, su uso es poco común y la literatura en cuanto a digestibilidad utilizando dichos recursos es escasa, pero muy necesaria, ya que para evaluar la calidad y el posible aprovechamiento de una dieta, forraje o ingrediente, así como para definir las necesidades de nutrientes de las distintas clases de animales, es necesario determinar el valor potencial de los alimentos a través de diferentes pruebas (McDonald *et al.*, 1999; Church and Pond, 2004). El conocer las necesidades cuantitativas de los nutrientes y el valor relativo de los alimentos como fuente de ellos, es la base de la alimentación científica.

Son múltiples los factores que determinan el aprovechamiento de los alimentos: especie, edad, sexo, estado fisiológico, estado de salud, enfermedades infecciosas y parasitarias, presentación del alimento, calidad de los ingredientes o componentes, y el equilibrio o balance entre los nutrientes (McDonald *et al.*, 1999; Church and Pond, 2004). En general los métodos empleados para evaluar la digestibilidad o utilización de nutrientes, son similares para todas las especies. Durante los dos últimos siglos se ha experimentado con animales de granja, aunque también se han empleado animales de laboratorio, peces, primates e incluso al hombre. Estos

estudios han sido los principales métodos empleados para determinar los requerimientos cualitativos y cuantitativos de la mayoría de los nutrientes conocidos, y el valor de los alimentos, (Maynard *et al.*, 1985). El valor potencial de los alimentos puede determinarse mediante el análisis químico, pero el valor real para los animales, solo puede determinarse después de haber tenido en cuenta los cambios inevitables que se producen durante la digestión, absorción y metabolismo (McDonald *et al.*, 1999).

2.2 Digestibilidad

Si se considera que la primera porción que se tiene que descontar de los alimentos, es la correspondiente a la fracción no absorbida y excretada en las heces, la porción restante es aquella que corresponde a la fracción digestible y absorbida. La digestibilidad de los alimentos puede definirse como la cantidad de alimento consumido, no excretado en heces y que por lo tanto se le considera absorbido por el animal.

En los ensayos de digestibilidad se deben tener en cuenta los siguientes puntos básicos: (Maynard *et al.*, 1985; McDonald *et al.*, 1999; Church and Pond, 2004).

- 1) En los ensayos de digestibilidad, el alimento es proporcionado en cantidades conocidas para así determinar la cantidad excretada.
- 2) Se deben emplear varios animales, ya que aunque sean de la misma especie, edad y sexo, presentan diferencias en su capacidad digestiva; además de que las repeticiones permiten reducir los posibles errores en las determinaciones.
- 3) Son preferibles los machos a las hembras, por las facilidades en la colecta de orina. También deben ser dóciles y gozar de buena salud.
- 4) Los animales pequeños pueden ser alojados en jaulas metabólicas, mientras que a los de mayor talla, se les pueden adaptar arneses con bolsas de material impermeable, que permiten la colección de heces y orina.
- 5) Los alimentos deben mezclarse homogéneamente y administrarse por lo menos durante una semana antes de iniciar con la colecta de heces (periodo experimental), con la

finalidad de que los animales se acostumbren a la ración y eliminar del tracto digestivo, los restos de los alimentos consumidos con anterioridad. Este período preliminar va seguido de un período experimental en el que se controla la ingestión del alimento y la excreción de las heces. Este último periodo tiene una duración comprendida entre 5 y 14 días. En los monogástricos, las heces procedentes de una determinada ingestión de alimento, puede identificarse añadiéndose un marcador como el óxido férrico o carmín, al comienzo y al final del período; esto no sirve en el caso de los rumiantes, en donde es aconsejable dejar transcurrir un tiempo de 24 a 48 horas, por lo tanto las determinaciones en heces inician uno o dos días después de haber iniciado con la ingestión del alimento a probar, y se prolonga durante el mismo tiempo después de la última comida controlada.

- 6) Especialmente en rumiantes, resulta conveniente establecer los horarios de comida a una misma hora y que la cantidad consumida no cambie de un día a otro; ya que si la ingestión es irregular, existe la posibilidad de que la última comida sea anormalmente abundante con una excreción fecal retrasada. En este caso la excreción fecal quedaría subestimada y la digestibilidad sobreestimada
- 7) Los experimentos se completan analizando las muestras de alimentos y las heces recogidas.
- 8) La fórmula general para calcular la digestibilidad de un alimento problema es:

$$\frac{\text{Nutriente en el alimento problema} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Nutrientes en las heces} \\ \text{del alimento base} \end{array} \right\}}{\text{Nutriente en el alimento problema}}$$

2.2.1 Métodos con marcadores

En si una prueba de digestión implica cuantificar los nutrientes consumidos, menos las cantidades que son eliminadas en las heces. Diversos métodos se emplean para la recolección de las heces, en el caso de los omnívoros se emplean sustancias no digeribles y de fácil distinción, denominadas marcadores.

Las pruebas de digestibilidad de dietas para cerdos pueden ser evaluadas por la colección total de heces (CTH) o usando una sustancia como marcador.

Los marcadores inertes proveen un medio para calcular la digestibilidad cuando la colección completa de excretas de una cantidad conocida de un alimento consumido no puede ser tomada (Jagger et al., 1992). Sin embargo, se ha visto que la digestibilidad de nutrientes es asegurada tradicionalmente por la colección total más que por el método con un indicador con el cual se pretende obtener valores de digestibilidad similares a la CTH (Schurch *et al.*, 1952), aunque el uso de este método debe ser cuidadoso ya que según sea su manejo serán los resultados obtenidos.

En estudios realizados en cerdos se ha visto que es importante el tiempo que se determine para tomar las muestras de heces, pues la digestibilidad calculada dependerá de la excreción del marcador, la cual se establece a los 5 días de haber iniciado con el consumo del indicador, también es recomendable un trabajo de muestreo de varios días, ya que se ha reportado que es mejor que una única toma de muestras para este método, además los indicadores deben excretarse varios días antes de iniciar el muestreo para que el contenido del marcador se estabilice en heces (Agudelo *et al.*, 2010).

Los marcadores se han clasificado como internos y externos:

- Los marcadores internos son parte del alimento y son poco o totalmente indigeribles, los más comunes son la lignina, sílice, cenizas insolubles en ácido (Church *et al.*, 2004; Lachman y Araujo, 2005).
- Los marcadores externos son añadidos al alimento o al agua, estos marcadores son compuestos químicos y los más utilizados son: óxido de cromo (Cr_2O_3), elementos de tierras raras (Church *et al.*, 2004), dióxido de titanio (TiO_2) (Titgmeyer *et al.*, 2001).

Usos

- Óxido de cromo (Cr_2O_3), se da por vía oral en capsulas o mezclado en el alimento.
- Elementos de tierras raras como lantano, cerio, samario, iterbio o disprosio, usados para medir la cinética de la digestión, la rapidez de paso y los tiempos de retención de diferentes nutrientes de los alimentos, ingredientes y partículas.

- Cromo fijado a fibra
- Marcadores solubles en agua, se emplean para medir el flujo de líquidos en el conducto gastrointestinal.

Maynard *et al.*, (1985) establecen que un marcador ideal para la determinación de valores de digestibilidad deben tener las siguientes propiedades:

- Totalmente indigestible y no absorbible
- Farmacológicamente inactivo dentro del tracto digestivo
- Que pase a través del tracto a una velocidad uniforme
- De fácil determinación química
- Preferiblemente que sea una sustancia presente de forma natural en el alimento

En determinadas circunstancias, puede ser que las características del experimento limiten la determinación directa del alimento, la cuantificación total de las heces, o ambas. Un ejemplo común, corresponde a la alimentación de los animales en grupo, en donde resulta imposible la determinación del consumo de cada individuo; sin embargo, es posible determinar la digestibilidad si el alimento contiene un marcador (McDonald *et al.*, 1999). Este método proporciona una estimación de uno o todos los nutrientes, y tienen también la ventaja de poderse usar en animales alimentados en grupo o en corral, tomando muestras al azar, del recto o del piso directamente, y en animales criados extensivamente (Church y Pond, 2004).

En el análisis de laboratorio, es importante llevar a cabo la determinación del marcador, tanto en las muestras de heces, como de alimento para obtener coeficientes de digestibilidad más precisos, ya que el asumir que el contenido del marcador en el alimento es correcto puede llevar a la falsa medición de la digestibilidad (Kavanagh *et al.*, 2001).

Determinando el contenido de dicho indicador en el alimento y en pequeñas muestras de las heces de cada animal, la relación existente entre esas concentraciones, proporciona una estimación de la digestibilidad, a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Digestibilidad} = 100 - \left(100 \times \frac{\% \text{ Indicador en alimento}}{\% \text{ Indicador en excremento}} \times \frac{\% \text{ Nutriente en excremento}}{\% \text{ Nutriente en alimento}} \right)$$

En la actualidad se emplean como indicadores la fibra ácido detergente indigestible y las cenizas insolubles en ácido (CIA) (compuestas por sílice); así como algunos alcanos de cadena larga. También se puede emplear en los no rumiantes, el dióxido de titanio (TiO₂) (McDonald *et al.*, 1999). Estos marcadores cuando son agregados al alimento incluyen partículas teñidas con colorantes de colores fijos, insolubles y no tóxicos.

A pesar de la amplia gama en existencia de indicadores, el Cr₂O₃ es el marcador más ampliamente usado en estudios con cerdos. Sin embargo, este tiene algunos inconvenientes, además de tener propiedades carcinogénicas (Jagger *et al.*, 1992), se han reportado algunos problemas para determinar la digestibilidad por la interferencia con otros minerales en las raciones, (Saha y Gilbreath, 1991) y se han reportado índices de recuperación bajos o variables (Jagger *et al.*, 1992; Kavanagh *et al.*, 2001), por lo anterior y porque el cromo es un metal pesado su uso ha sido limitado para experimentos rutinarios, por la legislación nacional e internacional de medio ambiente (European Commission, 1976; Besluit Aanwijzing Gevaarlijke Afvalstoffen, 1993), citado por Van Leeuwen, *et al.*, (1996). Debido a lo ya mencionado se han buscado alternativas para el uso de Cr₂O₃. En cerdos se ha comparado el uso de Cr₂O₃ con otros marcadores como las CIA, el TiO₂, lignina, entre otros. Bakker y Jongbloed (1994) concluyeron en su trabajo que las CIA no fueron adecuadas para la determinación de la digestibilidad fecal. Sin embargo, McCarthy *et al.*, (1974), evaluaron en su experimento la adición de celite a razón de 5g/kg para incrementar los niveles de las CIA, concluyendo que la adición extra de CIA no es benéfica si la cantidad de CIA es suficiente en la dieta, por lo que mencionan que éstas si pueden ser usadas como marcador confiable y reemplazar el uso de Cr₂O₃.

En el trabajo llevado a cabo por Jagger *et al.*, (1992) en donde se evaluaron 3 marcadores inertes: lignina, TiO₂ y Cr₂O₃, para la determinación de la digestibilidad aparente ileal y fecal en cerdos, reportan que la recuperación de lignina y TiO₂ fue mayor que la recuperación de Cr₂O₃, con la misma tendencia se reportaron los coeficientes de digestibilidad ileal y aparente de N y aminoácidos. Jagger *et al.*, (1992) concluyen que el TiO₂ es el marcador más apropiado a razón de

1g/kg de alimento, reportando pequeñas diferencias entre la digestibilidad fecal de N y aminoácidos determinados por la colección total de heces y por el uso de marcadores.

Por el contrario, Kavanagh *et al.*, (2001) al evaluar el empleo de Cr_2O_3 , TiO_2 y las CIA para calcular la digestibilidad en dietas de cerdos, mencionan que la recuperación fecal de los marcadores fue de 96, 92.3 y 99.9 % (con un error estándar (ee) de 2.27) para cromo, titanio y CIA respectivamente, reportando que los coeficientes de digestibilidad de la MS y la energía calculados a partir de la colección total, no difirieron significativamente de los estimados por las CIA o del Cr_2O_3 , pero la digestibilidad por TiO_2 fue significativamente menor que lo estimado de la colección total o a las CIA.

Van Leeuwen, *et al.*, (1996) también determinaron la digestibilidad empleando como marcadores digestivos al óxido de cromo y a las cenizas insolubles en ácido (CIA), evaluando el patrón postprandial del pasaje de N, Cr y CIA, notando que el pasaje de N y Cr fueron más parecidos que los registrados para el N y CIA, determinando que el Cr_2O_3 es más adecuado como marcador que las CIA.

La validez de los marcadores en general puede ser mejorada cuando el índice del contenido del marcador en el material no digerido es reducido, y el flujo sea constante, esto puede lograrse alimentando a los animales con más frecuencia. Van Leeuwen, *et al.*, (1996) notaron que al dar una dieta baja en FC el flujo del marcador era constante, en comparación a una ración con salvado y gluten de trigo.

2.2.2 Digestibilidad aparente y digestibilidad verdadera

A excepción de los carbohidratos fibrosos, las principales clases de nutrientes (proteínas, lípidos y carbohidratos) se excretan en las heces a partir de fuentes endógenas. Las células que se desprenden de la mucosa intestinal y las secreciones digestivas contribuyen de manera considerable a estas fuentes endógenas.

-**La digestibilidad aparente** de un nutriente representa la diferencia entre la cantidad ingerida y la cantidad excretada. La cantidad total en el excremento incluye los residuos de alimento sin digerir más las fuentes endógenas del mismo nutriente. Esta fracción endógena es indistinguible de la porción sin digerir de los nutrientes ingeridos. Sin embargo, el coeficiente para la digestibilidad de la proteína, representa la digestibilidad aparente, ya que las heces contienen tanto el nitrógeno metabólico como el nitrógeno no digerido, y debido a que la fracción digerida de la mayoría de los nutrientes no se determina en forma directa, es frecuente emplear el término *coeficiente de digestibilidad aparente* (Maynard *et al.*, 1985).

Valores de digestibilidad aparente:

- 1) Carecen de significado para nutrientes como vitaminas y algunos minerales
- 2) Una fracción de nitrógeno, grasas, carbohidratos, y elementos inorgánicos que aparecen en las heces provienen de fuentes endógenas (células desprendidas de la mucosa intestinal, secreciones y enzimas digestivas).

La digestibilidad aparente toma en cuenta tanto los residuos de alimento no absorbidos como los componentes de las heces que son de origen endógeno, y la fórmula para calcularle es:

$$\text{Digestibilidad aparente} = \frac{\text{ingestión de nutrientes} - \text{nutrientes de las heces}}{\text{Ingestión de nutrientes}}$$

Por otra parte, algunos de los minerales absorbidos pueden ser excretados a través del intestino y esta fracción excretada puede ser tan grande y variable como el total ingerido, por lo que la prueba de “cenizas digestibles” como prueba de digestión, no tiene un significado real (McDonald *et al.*, 1999).

-**La digestibilidad verdadera** de un nutriente es la proporción del alimento ingerido que es absorbido en el conducto gastrointestinal, con exclusión de cualquier aportación hecha por fuentes corporales (endógenas).

Al nitrógeno (N) excretado se le ha clasificado en dos:

- 1) Nitrógeno exógeno: Es el nitrógeno fecal derivado del alimento ingerido no proveniente de tejidos corporales.
- 2) Nitrógeno metabólico fecal: Es el nitrógeno derivado de los tejidos del cuerpo.

En el caso de las proteínas la digestibilidad real se estima restando la cantidad de N que aparece en las heces de un animal alimentado con una dieta baja en proteínas, de la cantidad de N que aparece en las heces de un animal alimentado con una dieta de prueba.

La digestibilidad aparente de la proteína de un alimento es afectada por la cantidad de proteína de dicho alimento, ya que la cantidad de proteína endógena tiende a ser constante, de modo que a una alta ingestión de proteína la fracción endógena representa un menor porcentaje de la excreción total de nitrógeno. En el caso de especies no rumiantes, que tienen un tiempo de retención del alimento ingerido muy corto, es posible administrar una dieta libre de proteína durante un periodo breve.

La excreción endógena puede estimarse por varios métodos:

- 1) Administrar una dieta libre de nitrógeno y determinar la cantidad de nitrógeno en el excremento.
- 2) Administrar varios niveles de nitrógeno y calcular el nivel fecal por análisis de regresión con respecto a una ingestión de cero de nitrógeno.
- 3) Alimentar con una proteína completamente digerible.

En el intestino grueso del cerdo, las proteínas y los aminoácidos son sintetizados o degradados por la actividad microbiana, así la disponibilidad de los aminoácidos de la dieta para el animal se determina de manera más precisa, midiendo la digestibilidad en el extremo terminal del intestino delgado, en vez de hacerlo en el excremento, a través de la colocación de una cánula en la parte inferior del íleon (Church y Pond, 2004). Algunas de estas técnicas están descritas en publicaciones que datan de los años 60's (Redman *et al.*, 1964), siendo algunas de las más recientes, las publicadas por Stein *et al.*, (1998), quienes desarrollaron una técnica de canulación del íleon terminal en cerdas gestantes y lactantes, demostrando que la recuperación es rápida,

regularizando el consumo de alimento a las 72 horas posteriores a su colocación, y que la cánula puede permanecer en su sitio hasta por 150 días.

Nitrayová *et al.*, (2006), evaluaron la digestibilidad ileal aparente de aminoácidos y de N total, observando que ésta aumenta conforme se incrementa el peso corporal, también compararon la digestibilidad de diferentes aminoácidos de dietas basadas en centeno (96% de centeno) en cerdos de crecimiento, con un peso promedio de 20.6 y 61.7 kg, reportando mayor digestibilidad de los aminoácidos individuales en los cerdos más pesados, excepto para la metionina y fenilalanina, notando diferencias en los coeficientes de digestibilidad de N total y aminoácidos totales, aproximadamente de un 7%.

En el trabajo realizado por Stein *et al.*, (1999) detectaron que la digestibilidad fecal aparente de la proteína para diferentes ingredientes empleados en seis dietas experimentales, fueron mayores en cerdas de gestación y lactancia comparadas con cerdos de crecimiento, pero entre los dos grupos de cerdas (gestantes y lactantes) no observaron diferencias (Cuadro 2). Parece que otros factores como la fermentación microbiana de proteínas en el intestino grueso están involucrados (Rérat, 1978).

Cuadro 2. Coeficientes de digestibilidad aparente de la proteína cruda en el tracto total (%), para maíz, cebada, trigo, harina de soya, harina de canola y harina de carne y hueso, en cerdos de crecimiento, cerdas gestantes y lactantes.

| INGREDIENTE | CERDOS CRECIMIENTO | | CERDAS GESTANTES | | CERDAS LACTANTES | |
|--|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Promedio | ± ee | Promedio | ± ee | Promedio | ± ee |
| Coefficientes de digestibilidad aparente total del tracto (%) | | | | | | |
| Maíz | 53.7 | 2.6 ^a | 70.5 | 3.4 ^b | 70.4 | 2.4 ^b |
| Cebada | 57.4 | 2.6 ^a | 69 | 2.2 ^b | 67.4 | 2.4 ^b |
| Trigo | 79.2 | 2.6 ^a | 86.7 | 2.0 ^b | 86.6 | 2.4 ^b |
| Harina de soya | 76.0 | 2.3 ^a | 84.1 | 2.8 ^b | 84.4 | 2.6 ^b |
| Harina de canola | 64.4 | 2.3 ^a | 70.8 | 2.2 ^b | 75 | 2.6 ^b |
| Harina de carne y hueso | 79.5 | 2.6 ^a | 87.6 | 2.4 ^b | 85.9 | 2.6 ^b |
| Promedio | 68.4 | 1.1 ^a | 78.1 | 1.0 ^b | 78.3 | 1.1 ^b |

^{a,b,c} Diferentes literales en las columnas indican diferencia estadística

ee: Error estandar

Adaptado de Stein *et al.* (1999)

Con base en lo anterior, se puede establecer que la digestibilidad ileal no difiere según la edad a excepción de la digestibilidad de los aminoácidos esenciales.

2.2.3 Factores que afectan la digestibilidad

Los coeficientes de digestibilidad nunca son constantes para un determinado alimento o ingrediente o especie animal, en pocas palabras, estos son relativos, ya que están influenciados por muchos factores. En los cerdos, la digestibilidad total de la energía de la dieta y otros nutrientes, está influenciada por las características del alimento (composición química y tratamiento o procesado), por factores propios del animal (peso corporal, sexo, estado fisiológico y genotipo), por el sistema de alimentación (nivel de consumo, *ad libitum* o restringido), y por el procedimiento experimental (método de medición) (Le Goof y Noblet, 2001).

-Efecto de la composición química.- La composición química del alimento afecta su digestibilidad, por ejemplo: la reducción de la digestibilidad de los nutrientes no proteicos es menos marcada que para la proteína; las diferencias de digestibilidad del extracto etéreo, son variables como variable es la grasa; mientras que en las semillas y sus subproductos, el extracto etéreo está compuesto en gran parte por esteroides de ácidos grasos de fácil digestión, el extracto etéreo de los forrajes contiene una elevada proporción de componentes no saponificables, así como de sustancias que no son lípidos (Maynard *et al.*, 1985). Por consiguiente y con base en lo anterior, no es de sorprender que incluso un mismo ingrediente, como puede ser un forraje o un grano, presenten una marcada variabilidad en su digestión.

-Efecto de la fibra sobre la digestibilidad.- La fracción principal de la dieta para los cerdos son los carbohidratos, los que se pueden dividir de acuerdo a sus enlaces glucosídicos en: azúcares, oligosacáridos y 2 tipos de polisacáridos, almidonados y no almidonados. Los polisacáridos no almidonados, junto con la lignina, hacen la fracción correspondiente a la fibra y se asume que constituyen la fibra dietaria. No hay enzimas capaces de unirse a algún tipo de oligosacarido y polisacáridos no almidonados, pero una fracción puede perderse debido a la acidificación que ocurre en el estómago y a la fermentación microbiana en el intestino (Serena *et al.*, 2008). Sin embargo, una fracción de almidón sin degradar puede pasar el intestino delgado (Englyst *et al.* 1992). Los carbohidratos no digeridos por enzimas en el intestino delgado pasarán al intestino grueso, en donde estimularán el crecimiento microbiano y la producción de ácidos grasos de cadena corta.

Muchas de las materias primas fibrosas son relativamente baratas, y las dietas convencionales para cerdas que son densas en nutrientes y bajas en fibra son utilizadas sabiendo que carecen de llenado intestinal y saciedad reduciendo el tiempo de paso, lo que trae como consecuencia una reducida eficiencia de la utilización de energía (Lee and Close, 1987)

Bajo condiciones comerciales, a las cerdas gestantes se les somete a un régimen alimenticio restringido, con la finalidad de mantener una condición corporal y nivel productivo óptimos (Whittemore *et al.*, 1988). Las restricciones en el consumo de alimento son benéficas tanto para la salud como para la productividad de las cerdas; sin embargo, este es un factor importante en la predisposición a un comportamiento estereotípico (Lawrences y Terlouw, 1993). De ahí que exista la recomendación de proporcionar dietas altas en fibra para las cerdas en gestación (Brouns *et al.*, 1995), encontrando varias ventajas en ello, como es el empleo de ingredientes relativamente económicos tales como los subproductos de cereales (Le Goff *et al.*, 2002b), así como el permitir una mayor saciedad y bienestar para las cerdas gestantes (Ramonet *et al.*, 2000). Por consiguiente se ha ido aumentando el interés para alimentar a los cerdos con dietas que contengan mayores niveles de fibra, buscando cubrir tanto la perspectiva económica, como las de bienestar animal.

El efecto de la Fibra Dietaria (FD) sobre la digestibilidad de la energía y demás nutrientes en cerdos en crecimiento y cerdas adultas, ha sido investigado por varios autores (Graham, *et al.*, 1986; Chabeauti *et al.*, 1991; Noblet y Shi, 1993a; Ramonet *et al.*, 1999), en donde se ha demostrado que la digestibilidad de la FD es mayor en cerdas adultas en comparación con cerdos en crecimiento, siendo entonces la edad y peso del animal, otro factor determinante en dicho parámetro, esta diferencia por edad y peso se debe en parte, a un mayor desarrollo en el sistema digestivo del cerdo adulto, particularmente el intestino grueso (Noblet y Shi, 1993b).

Sin embargo, el incremento en la FD de las dietas para cerdos, disminuye la digestibilidad total de nutrientes y energía (Le Goff *et al.*, 2002b). Las mediciones estadísticas establecidas como ecuaciones de predicción para la utilización metabólica de la energía (Noblet y Shi, 1993a) demuestran un aumento en el incremento calórico; sin embargo, los resultados de estas

investigaciones no se pueden aplicar a todos los casos, ya que el origen botánico de la fibra, es un determinante más.

El efecto que tiene el aumento de la fibra en la dieta, sobre la digestibilidad de energía, afecta también la digestibilidad de otros nutrientes; sin embargo, en la medida en que aumenta el peso y edad del cerdo (aumento del volumen de los intestinos), se reduce el efecto negativo del incremento de la fibra en la dieta. Finalmente el origen botánico de la fibra tiene mucho que ver en la capacidad de digestión de la misma, siendo mejor el comportamiento en los animales de mayor edad; sin embargo, independientemente a la edad, la inclusión de la fibra afecta la digestibilidad de otros nutrientes, particularmente del extracto etéreo (EE), fracción que representa una fuente importante de energía en los cerdos. La digestibilidad total para EE de dietas con diferente origen de la fibra para cerdas adultas fue reportado por Le Goff *et al.*, (2002b) siendo de 0.31, 0.42, 0.32 y 0.07, para la dieta control con 100g de fibra total por kg de MS y para las dietas a base de salvado de maíz, salvado de trigo y pulpa de remolacha; respectivamente, las cuales contenían 200 g de fibra total por kg de MS.

Sin duda, el tipo de fibra usada en las dietas es importante ya que según la composición química de estas influirá en su digestibilidad. Yan *et al.*, (1995) notaron que la digestibilidad aparente y la retención de MS fue significativamente mayor para dietas que contenían pulpa de remolacha, en comparación con dietas que contenían paja de trigo, estableciendo que la digestibilidad no fue afectada significativamente por el nivel de alimentación. Es bien conocido que la inclusión de paja en la dietas disminuye el coeficiente de digestibilidad de la MS y puede en parte deberse a un reducido tiempo de tránsito a través del intestino, de las dietas que contengan fibra, resultando en una reducida exposición de la dieta a las enzimas endógenas y a la acción microbiana (Zoiopoulos, 1982).

Ciertamente el contenido de fibra en las dietas de cerdos es importante al igual que el origen, ya que esto también influye sobre la digestibilidad de la energía y de los nutrientes, Serena *et al.*, (2008) señalan que en dietas con diferentes niveles de fibra así como diferentes características fisicoquímicas, la digestibilidad total en cerdas adultas para la materia orgánica, proteína, grasa, carbohidratos, almidones, polisacáridos no almidonados y polisacáridos no

celulolíticos, se ve favorecida en las dietas en donde la fibra dietaría incluida es de origen soluble, en comparación a las dietas con fibra de origen insoluble. Además, el rango de excreción total de materia fecal incrementa conforme incrementa la fibra dietaría en las raciones, lo cual se refleja en la digestibilidad de los nutrientes. La pérdida de energía en forma de metano puede variar con el peso vivo (PV) y el tipo de dieta, en cerdos de crecimiento aumenta conforme se incrementa el peso (Noblet y Shi, 1993a) y en cerdas adultas ocurre con el aumento en el contenido de fibra en la dieta (Ramonet *et al.*, 2000), lo que puede deberse a un incremento en las secreciones endógenas o a una mayor actividad microbiana en el intestino grueso con mayor excreción fecal de N incorporado en la proteína microbiana (Kirchgessner *et al.*, 1994). La excreción de N en heces puede explicarse debido a que existe una correlación negativa entre la digestibilidad de los aminoácidos y la proteína cruda asociada a la cantidad de Fibra Detergente Neutra (FDN) en dietas para cerdos (Huang *et al.*, 2001). Esto puede deberse a que la inclusión de fibra en la dieta, origina un aumento de la descamación de las células del epitelio intestinal e incrementa también la secreción de mucinas, todo lo cual supone un mayor valor de las pérdidas endógenas de proteína y por tanto una disminución del coeficiente de digestibilidad (Jondreville y Gálvez 1995), de la proteína y de los aminoácidos.

Algunos subproductos por tener elevada concentración de fibra dietaría soluble pueden postergar el vaciado gástrico, debido a su elevada capacidad para unirse al agua y alta viscosidad; mientras que los productos con alta concentración de fibra dietaría insoluble, aumentan la excreción fecal por una disminución relativa en la degradación microbiana en el intestino grueso (Serena *et al.*, 2008).

-Efecto del procesamiento de los alimentos.- Moler los granos mejora la digestibilidad particularmente en aquellos animales que no mastican del todo sus alimentos, ya que las semillas que escapan a la masticación permanecen sin digerir en su paso a través del tracto. Esto se debe a que los tegumentos de las semillas que no fueron desintegrados, son resistentes a la acción de las enzimas. Por otra parte, se ha reportado que la molienda fina de los forrajes disminuye su digestibilidad, debido a que el alimento molido pasa más rápido por el tracto digestivo. La influencia que ejerce la molienda sobre la ingesta y la digestibilidad, depende de que tanto modifique ésta la retención y la tasa de degradación. El alimento en forma de pellet puede

mejorar la digestibilidad de la fibra por efecto del calentamiento y predigestión de los almidones, pero reduce la digestión de la fibra, debido a que aumenta la velocidad de tránsito. Cocer los alimentos ayuda poco, solo en el caso de algunos ingredientes empleados en la alimentación del cerdo, tales como el frijol de soya y las papas. Cabe señalar que ninguno de los métodos empleados para obtener mayor valor nutricional a partir de los forrajes y otros alimentos fibrosos, tales como la fermentación, la predigestión y el malteado han demostrado tener ventajas cuando se han sometido a pruebas críticas (Maynard *et al.*, 1985).

En ocasiones, los alimentos son sometidos a tratamientos térmicos, entre éstos se encuentran los procedimientos de cocción líquida, al vapor o por micronización; particularmente de los ingredientes ricos en almidones (cereales y tubérculos) en los que se lleva a cabo una predigestión de los mismos. Una ventaja más que brindan los tratamientos térmicos, es la de inhibir compuestos orgánicos nitrogenados de carácter alcalino con efectos antinutricionales, que existen en algunos ingredientes como las pastas de soya y las papas (factores antitripsicos). La ventaja de dicho tratamiento no radica tanto en mejorar la digestibilidad, sino en el hecho de que la digestión de las proteínas se realiza de manera enzimática en el intestino delgado, y no por fermentación en el ciego (McDonald *et al.*, 1999).

-Efecto de la edad o etapa productiva sobre la digestibilidad.- La digestibilidad guarda más relación con los alimentos que con los animales que los consumen; sin embargo, el factor animal que determina en mayor medida la digestibilidad es la especie (McDonald *et al.*, 1999), seguido de la edad y etapa productiva, y finalmente origen genético.

La diferencia entre las edades o etapas productivas de los cerdos, se deben a una mayor habilidad de los animales de mayor talla, para degradar la FD, lo que puede ser explicado por varios factores, incluyendo una habilidad intrínseca de la flora bacteriana del intestino grueso, para digerir la fibra, una mayor concentración de estas bacterias, una reducción relativa en el nivel de alimentación, así como un mayor tiempo de retención o tránsito intestinal (Dierick *et al.*, 1989; Varel y Yen, 1997). A partir de estas observaciones, se ha establecido que en la medida en que aumenta la talla del cerdo, el volumen intestinal es mayor y consecuentemente el tránsito intestinal requiere de mayor tiempo, con lo que la flora intestinal en el intestino grueso, tiene

mayor tiempo para fermentar la fracción de la FD, lo que permite una mayor digestibilidad de la fibra, como lo observado en dietas a base de salvado de trigo, donde Le Goff *et al.*, (2002b) reportan una digestibilidad de la FC de 0.21, 0.29 y 0.38 para cerdos de crecimiento, finalización y cerdas adultas, respectivamente.

Al respecto, se ha demostrado que el tiempo de retención se modifica con la edad o etapa productiva de los cerdos, presentándose efectos interesantes en la capacidad de estos animales, para degradar la FD, al verse modificado el tiempo de retención o tránsito intestinal por efecto del origen de la fibra. Le Goff *et al.*, (2002b), han señalado que el tiempo medio de retención (TMR) es considerablemente mayor en cerdas adultas, en comparación a cerdos en crecimiento y finalización; por otra parte, el mismo parámetro se reduce cuando se emplean dietas altas en fibra a base de salvado de maíz y salvado de trigo, en comparación con el empleo de pulpa de remolacha. Jørgensen *et al.*, (1996) reportaron que una dieta alta en fibra (268 vs. 59g fibra dietaría kg^{-1} MS) resulta en 5 o 6 veces el incremento en el flujo de la digesta a través del ileon terminal.

Al comparar la digestibilidad total del tracto de la energía dietaría y de los nutrientes en cerdos de crecimiento y cerdas adultas, se ha visto que es mayor en cerdas adultas. Le Goff and Noblet (2001) reportaron que la inclusión de fibra dietaría en las dietas disminuye los valores de ED; en cerdos de crecimiento se reduce aproximadamente un punto porcentual y en cerdas 0.6 puntos porcentuales, por cada 1% de FND adicional a las dietas, (Noblet y Shi, 1993b; Le Goff y Noblet, 2001), lo cual sugiere que el origen de las diferencias entre los dos estados fisiológicos es principalmente debido a un mayor índice de degradación de la fibra dietaría en el intestino grueso de las cerdas debido en gran parte al peso vivo, sin embargo como se ha mencionado anteriormente, la mejoría en la digestibilidad de la energía también depende de la naturaleza y origen botánico de la fibra dietaría (Le Goff y Noblet 2001).

La digestibilidad puede estar limitada por falta de tiempo para que las enzimas tengan acción sobre un sustrato en particular, ya que la acción digestiva completa requiere de tiempo, en sustancias que son de lenta digestión, o bien por la falta de absorción completa. Este efecto aumenta por una mayor velocidad de tránsito intestinal a través del tracto digestivo; aunque por

otro lado, el alimento puede transitar tan lentamente por el intestino, que esté expuesto a procesos excesivos de fermentación (Maynard, *et al.*, 1985).

La relación entre el índice de pasaje de la digesta (IPD) y la digestibilidad aparente de la materia seca fecal, tienen una correlación positiva en cerdas gestantes, el cual va en un rango de 27 a 102 horas, ($R^2 = 0.231$, $P < 0.05$), estableciendo que a mayor tiempo de retención de la digesta mejora la digestión de la materia seca (DMS) en los cerdos, (Kim, *et al.*, 2007). Esta relación puede ser explicada por el incremento en el tiempo disponible para la digestión enzimática y absorción intestinal, por lo que la disminución de la DMS bien puede deberse a un rápido IPD (Kass, *et al.*, 1980).

Sin embargo, Le Goff *et al.*, (2002b) mencionan que en cerdas que presentaron diferencias en el TMR, el coeficiente de digestibilidad de la energía fue similar, por lo que estos autores sugieren que el tiempo de retención de la digesta en las cerdas es suficientemente largo para no afectar la digestión de la energía, independientemente del tipo de dieta y del nivel de alimentación.

En cuanto a la digestibilidad del alimento en el tracto digestivo total entre cerdos de crecimiento y cerdas adultas, también hay similitudes, ya que se ha reportado que la digestibilidad total del tracto para el EE no es afectada por el estado fisiológico de los cerdos; de hecho, los almidones y el EE son digeridos en el intestino delgado y se ha reportado poca diferencia entre estados fisiológicos (Lin *et al.*, 1987).

-Efecto del nivel de consumo sobre la digestibilidad.- Datos de la literatura también sugieren un ligero incremento de la digestibilidad de la energía con niveles reducidos de alimento en cerdos de crecimiento (Roth y Kirchgessner, 1984), ya que al disminuir el nivel de alimentación puede mejorar la eficiencia de la digestión, debido a la disminución en el índice de pasaje.

Cuando se reduce la ingestión de alimento por debajo del nivel de mantenimiento, los animales tienden a ser más eficientes en la digestión de la ración y en el aprovechamiento de los nutrientes. Los cambios en las formulaciones pueden tener mayores efectos metabólicos que

sobre la capacidad digestiva por sí sola. Estudios recientes y en el caso particular de los aminoácidos y la proteína, establecen que un aumento en el consumo de éstos, mejora su digestibilidad hasta alcanzar una plataforma, presentándose un comportamiento cuadrático. Al respecto Fan *et al.*, (1994), señalan los aportes óptimos de proteína y amino ácidos con respecto a su digestibilidad (%), en los que se presenta la inflexión de la curva para cerdos en la etapa de crecimiento, alimentados con dietas a base de soya: % PC = 17.1 (80.9%), % Lisina = 0.94 (86.0%), % Metionina = 0.24 (89.0%), % Treonina = 0.63 (77.0%). En dichos trabajos se aprecia claramente, que un aumento en los niveles de PC y amino ácidos, mejora la digestibilidad de los mismos.

Lo que se ha encontrado referente al efecto del nivel de alimentación sobre la digestibilidad de la energía dietaría en cerdos, ha sido inconsistente. Una disminución en la digestibilidad de la energía aparente asociada con el incremento en el nivel de alimentación fue observado por Parker y Clawson (1967), quienes señalan que la digestibilidad de la MS, MO y N del maíz y la cebada disminuyen conforme se incrementa el nivel de la alimentación en cerdas, y por Everts y Smits (1987), quienes también reportaron que un incremento en el nivel de alimentación tiene un efecto negativo y significativo, sobre el coeficiente de digestibilidad fecal aparente de los nutrientes en cerdas. Everts y Smits (1987) y Smits *et al.*, (1994) encontraron la misma tendencia en cerdos de crecimiento; sin embargo Morel *et al.*, (2006) no encontraron efectos sobre la digestibilidad aparente de la materia orgánica y de la energía a un nivel de alimentación del 6 y 11 % del peso corporal metabólico en cerdos de 25 y 90 kg.

Fernández *et al.*, (1986) investigaron la digestibilidad en cerdas adultas usando 26 diferentes materias primas, variando mucho en la composición química. Las diferencias en la digestibilidad no fueron aparentes entre el nivel de alimentación de mantenimiento y hasta el 80 y 120% del nivel de mantenimiento.

La relación entre el nivel de alimentación y la digestibilidad parece depender también sobre la calidad del alimento. La digestibilidad de raciones que contienen baja concentración de nutrientes digestibles son influenciados en gran parte por el nivel de alimentación, en comparación a aquellas raciones que contienen altas cantidades de nutrientes digestibles (Morel *et al.*, 2006).

La eficiencia digestiva puede también ser disminuida por el incremento en el nivel de alimentación como un resultado del efecto positivo del último índice de pasaje. En suma, la digestión en el intestino grueso es sensible al tiempo en que la digesta está sujeta a fermentación bacteriana y el rápido pasaje de la digesta puede disminuir la efectividad de este mecanismo (Morel *et al.*, 2006).

2.3 Alternativas en la alimentación del cerdo

“La disponibilidad de nuevas fuentes alimenticias de alta producción de biomasa y calidad nutritiva es prioritaria para mejorar la productividad y la eficiencia en producción de cerdos. Esto hace necesario introducir, evaluar y seleccionar nuevas fuentes alimenticias de buen potencial, y de alto valor nutritivo, para ofrecer nuevas alternativas a los productores” (Garnica *et al.*, 2010).

Teniendo en cuenta todo lo ya mencionado, diversos investigadores a través de varias décadas han desarrollado pruebas de digestibilidad, en diferentes países y utilizando diversos ingredientes, con la finalidad de depender en menor medida de los granos y oleaginosas convencionales.

En la Unión Europea se estima que el déficit de proteína debido a la prohibición del uso de harinas de carne y hueso en la alimentación animal, es de 3 millones de toneladas en términos de soya (Battini *et al.*, 2003, referido por Trombetta *et al.*, 2006), dicha oleaginosa es la fuente de proteína más usada en la alimentación del cerdo, debido a varios factores: tiene del 44% al 47% de proteína, alta digestibilidad (cerca del 90%) alto valor biológico, y el contenido en aminoácidos esenciales es similar al de las proteínas animales (Trombetta *et al.*, 2006).

Debido al déficit de la soya, se han buscado alternativas para sustituir total o parcialmente a esta leguminosa. Trombetta *et al.*, (2006) evaluaron el empleo de semillas de *Lathyrus sativus L* (un tipo de leguminosa) para sustituir en un 10 y 20% el empleo de soya en dietas para cerdos de crecimiento, reportando coeficientes de digestibilidad similares entre la dieta control y la dieta con 10% de sustitución (85.64 y 85.51 %, respectivamente). La composición química de esta alternativa de alimentación es: 91.3% MS; 29.4% PC; 1.6% EE; 8.0% FC; y 2.6% Cenizas.

En la búsqueda de sustitutos de proteína se han evaluado diferentes ingredientes, también es el caso del uso de las hojas de camote. Le Van *et al.*, (2004) evaluaron cuatro dietas una dieta control a base de harina de mandioca + caseína, y tres dietas con base en hojas camote en forma fresca, seca y ensilada. En este trabajo se reporta que la dieta control tuvo mayor digestibilidad ileal aparente y total para la PC, con menor coeficiente de digestibilidad para la FND, en comparación a las dietas que incluían hojas de camote; sin embargo, entre las dietas a base de hojas de camote no se observaron diferencias en los coeficientes de digestibilidad para MO, PC y FND, reportándose la digestibilidad total del tracto en 0.94, 0.88, 0.85 y 0.88 para MO; 0.86, 0.75, 0.74 y 0.75 para PC; y 0.54, 0.58, 0.55 y 0.56 para FND; en la dieta control y las dietas con harina de camote fresco, seco y ensilado respectivamente.

El contenido de MS (g/kg^{-1}), MO, PC y FC (g/kg^{-1} MS) de las hojas de camote en las diferentes presentaciones fue: 180, 986, 268 y 128 (hojas frescas); 950, 986, 269 y 128 (hojas secas); y 328, 985, 234 y 125 (hojas ensiladas).

Garnica, *et al.*, (2010) evaluaron en cerdos de crecimiento al ramio (*Boehmeria nivea L. Gaud*). Esta es una planta originaria de la zona subtropical de China, dicotiledónea anual, que se cultiva en Asia y Sur América, para producir fibra natural y forraje como fuente de proteína en la alimentación de ganado bovino, ovino, caprino, cerdos y pollos. Boschini y Rodriguez (2002), determinaron la digestibilidad total de la MS y PC, elaborando harina de las hojas y harina de las hojas más peciolo, concluyendo que solo las hojas de ramio podrían tener un potencial nutricional para ser incluidas en dietas para cerdos, ya que los mejores niveles de digestibilidad para MS y PC lo mostró la harina de hojas en comparación de las hojas con peciolo: 54.59 y 67.21% vs. 41.6 y 53.5%, respectivamente; sin embargo, estas digestibilidades no dejan de ser bajas, en comparación con aquellas que pueden llegar a alcanzar productos menos fibrosos, ya que los aportes de FC de la harina de hojas de ramio es del alrededor del 16.55%.

En el trópico húmedo se han estudiado diversas fuentes alternativas empleadas para la alimentación de cerdos en crecimiento, que incluyen algunos sub-productos agro-industriales, tales como la harina de almendra de palma, granos secos de destilería y cascarilla de trigo, los cuales fueron evaluados en un trabajo realizado por Amaefule, *et al.*, (2009). Dichos autores no

encontraron diferencia significativa para los coeficientes de digestibilidad de MS, MO, PC, FC y ELN; aunque la cascarilla de trigo presentó un mayor valor numérico para todos los coeficientes de digestibilidad de nutrientes, excepto para el EE. Los aportes de MS, PC, EE, FC, Cenizas, ELN (%), y Energía Bruta (MJ/kg^{-1}), reportados por los autores fueron, para la harina de almendra de palma: 89.70, 20.53, 6.15, 16.25, 4.30, 42.47 y 19.27; para los granos secos de destilería: 89.50, 22.49, 6.25, 21.0, 4.70, 35.06 y 19.34; y para la cascarilla de trigo: 90, 18.74, 4.35, 7.0, 5.80, 54.11 y 18.46, respectivamente.

Algunos productos presentan desventaja como los granos secos de destilería, los cuales son desechos sólidos de la industria cervecera, fácilmente disponibles y baratos, pero cuyo contenido de humedad y su bajo secado dificulta su almacenaje y uso, presentando una gran variedad en su composición proximal, ya que esto depende del producto cervecero del cual provengan (Amaefule *et al.*, 2009).

En algunas ciudades de países como Nigeria, Vietnam y Dinamarca, entre otros cada vez es más común el empleo de desperdicios en la alimentación animal, ya sea para disminuir costos en la alimentación y aprovechar los recursos disponibles, o bien para evitar que estos desechos se conviertan en un problema de contaminación ambiental (Le Van An *et al.*, 2004; Hoang Huong Giang *et al.*, 2004; Amaefule *et al.*, 2009)

En países tropicales es común que haya desperdicio de plátano, debido a que una fracción importante de la fruta cosechada que no cumple con los requisitos para su exportación y consumo, se cataloga como “fruta de rechazo”, la cual se utiliza en la alimentación de ganado, mientras que la parte vegetativa de la planta, las hojas y los tallos, han sido empleados experimentalmente en forma de harina, en dietas concentradas para cerdos (Pérez 1997).

En México en el año 2007, se produjeron casi 2 millones de toneladas de plátano (FAO, 2008) y se estima que un 32% de este producto durante el proceso de comercialización, fue considerado de rechazo, por lo que surge la interrogante ¿qué hacer con grandes volúmenes de fruta que en un momento dado no tienen salida inmediata?, ya que los plátanos a pesar de que son cosechados en estadio inmaduro, son perecederos rápidamente (Ly J. 2004), por lo que ha

surgido la variante de preservarlo en forma seca o ensilada. Por tales motivos, el plátano es una buena opción a considerar en la alimentación a pequeña escala.

-Características de los plátanos.- Los plátanos (*Musa sapientum sp.*) son frutos en forma alargada, de origen asiático, que pertenecen a la familia de las Musáceas, la cual contiene más de 1000 especies (Botanical, 1999). Su valor nutritivo radica principalmente en su contenido de carbohidratos, por lo que si están verdes o inmaduros (forma en la que generalmente se cosechan), son catalogados como una fuente de energía en forma de almidón; mientras que en forma madura, son una fuente de sacarosa (Ly J. 2004). Contienen entre el 70 y 80% de agua, un bajo contenido de vitaminas (Babatunde, 1979) y escaso contenido de nitrógeno, por lo que se ha asegurado que la proteína de estas frutas es de pobre calidad (Ly J. 2004).

El proceso de maduración implica un cambio esencial en la composición de los carbohidratos de esta fruta, en donde el almidón desaparece con el proceso de maduración, dando lugar a la aparición de carbohidratos solubles que es lo que finalmente le da la consistencia y el sabor, convirtiéndose en un alimento altamente palatable. En el Cuadro 3 se muestra el contenido de carbohidratos de plátanos verdes y maduros.

Cuadro 3. Contenido de carbohidratos en plátanos verdes y maduros

| | Plátanos | |
|-------------------------|----------|---------|
| | Verdes | Maduros |
| Contenido, % MS | | |
| Almidón | 65.8 | 4.5 |
| Azúcares solubles | 10.1 | 71.6 |
| Fibra cruda | 3.9 | 3.6 |
| Fibra detergente ácido | 7.2 | 8.0 |
| Fibra detergente neutro | 10.6 | 10.2 |

Fuente de los datos: Le Dividich *et al.*, (1976).

La sacarosa, fructosa y glucosa son las principales fracciones presentes en los carbohidratos solubles del plátano (Cuadro 4). Posiblemente la glucosa y principalmente la fructosa se originan por hidrólisis de la sacarosa, siendo éste disacárido el principal de los

carbohidratos solubles, puesto que constituye más de las tres quintas partes del total de los mismos.

Cuadro 4. Distribución de carbohidratos solubles durante la maduración de los plátanos.

| Días | Glucosa | Fructosa | Sacarosa |
|------|---------|----------|----------|
| 0 | 19.24 | 12.46 | 68.30 |
| 3 | 19.07 | 15.43 | 65.49 |
| 6 | 21.29 | 14.67 | 64.03 |
| 9 | 21.56 | 16.59 | 61.85 |

Fuente de los datos: Poland *et al.*, (1938). citado por (Ly J.2004).

Al igual que otros alimentos, los plátanos también presentan factores antinutricionales, los presentes en esta fruta son los taninos. Se han identificado dos tipos de taninos situados en dos sitios diferentes: uno en el jugo difuso de la pulpa y otro en la cáscara, donde se encuentra también un pigmento coloreado, la antocianina, que cuando se consume, es excretado por las vías urinarias. Por otra parte, las células parenquimatosas de las regiones internas y externas de la cáscara también contienen taninos, siendo cinco veces más abundante en las frutas verdes que en las maduras, por lo que la maduración de la fruta interviene favorablemente en la eliminación de este factor anti-nutricional. Los taninos influyen negativamente en el consumo voluntario del alimento por parte de los cerdos y también en los procesos digestivos, inhibiendo la acción de las enzimas proteolíticas. Por otra parte, el sabor astringente de los plátanos verdes, atribuido a los taninos, es responsable de una disminución en el consumo voluntario de los cerdos, en comparación con las dietas donde estas frutas se brindan en estado adecuado de madurez; además, se ha notado que los animales consumen preferentemente la pulpa, rechazando la cascara, por lo que se ha sugerido que se debe restringir la cantidad de fruta para que los cerdos consuman tanto la fruta como la cascara (Ly J. 2004).

2.4 Alimentación en cerdas gestantes

En una explotación porcina de ciclo completo, se tiene como finalidad primordial lograr la mayor productividad en el menor tiempo posible, obteniendo el mayor número de partos y el mayor número de cerdos destetados por cerda por año, lo cual es un punto determinante para lograr una buena rentabilidad (Renteria *et al.*, 2007). Teniendo esto en cuenta la cerda destinada a la reproducción representa la fuente más importante para el productor.

Los requerimientos nutricionales de las cerdas gestantes, son menores que los de una cerda en lactación incrementándose únicamente al final de la gestación, por tal motivo, es común que en las explotaciones se les mantenga restringidas en la cantidad de alimento que se les proporciona, (Renteria *et al.*, 2007). Sin embargo, hay que considerar que durante la gestación, el requerimiento de nutrientes esta dado en primera instancia para cubrir las necesidades de mantenimiento seguido del desarrollo de los fetos, útero y glándula mamaria, por lo que durante esta etapa se debe aportar la cantidad de nutrientes necesarios para que la cerda acumule suficientes reservas corporales y pueda cubrir el déficit nutricional en la siguiente lactancia, esto se debe hacer previendo el no originar cerdas gordas y con ello la presencia de problemas típicos al parto (Dourmand *et al.*, 2008), lo que puede ser un motivo para el desecho, ya que las cerdas son eliminadas principalmente por razones que involucran fallas reproductivas (no retorno a estro o ausencia de fertilización), fallas en lactancia (baja producción de leche o número insuficiente de cerdos destetados) y problemas locomotores (Dourmad *et al.*, 1994). Por tanto, algunos autores sugieren que un programa de alimentación para cerdas gestantes debe ser empleado para controlar la cantidad de grasa corporal ganada y para mejorar la cantidad de proteína corporal aumentada hasta el momento del parto (Pettigrew y Yang 1997).

En el manejo normal, el periodo de gestación parece ser el periodo durante el cual las reservas corporales pueden ser reconstituidas, (Dourmad *et al.*, 1996) y el mantenimiento de una condición corporal óptima de las cerdas en un hato no es siempre fácil; un pequeño error en la cantidad de alimento distribuido sobre el periodo de gestación completo, puede conducir a un sobrepeso y algunas veces al bajo peso de las cerda al momento del parto Maes *et al.*,(2004). Las reservas corporales que la cerda presente al momento de la lactancia, juegan un papel

importante, ya que la eficiencia de estas reservas para la producción de leche es de aproximadamente 87%, siendo mayor de la que presenta la EM a partir del alimento, la cual se estima en un 72% (Dourmad *et al.*, 2008), cabe señalar que la movilización de reservas depende del nivel de déficit nutricional en lactancia.

Desde hace algunos años, los programas de selección se han encaminado en reducir la cantidad de grasa en la canal y mejorar la eficiencia en la utilización del alimento generando con ello hembras genéticamente magras, lo que pone en desventaja su productividad. El empleo de dichos programas ha generado la disminución en el consumo voluntario de alimento por lo que cubrir los requerimientos nutricionales a partir del alimento se ha dificultado, sobre todo durante la etapa de lactancia que es un periodo metabólico demandante para la cerda (O'Dowd *et al.*, 1997), por tales motivos varios autores sugieren la implementación de diferentes estrategias de alimentación durante la gestación (Dourmad *et al.*, 1994; Ji *et al.*, 2005). En algunos trabajos se ha señalado la importancia de la reconstitución de reservas corporales durante el periodo de gestación y se ha notado que el suplemento de energía en este periodo es un factor limitante para la retención de N, ganancia de peso y grasa, por lo que se ha planteado que para asegurar una adecuada restauración de reservas corporales es necesario suministrar aproximadamente 8500 kcal ED/d (Dourmad *et al.*, 1996).

Ji *et al.*, (2005), sugieren que las necesidades de proteína en cerdas gestantes no son las mismas a lo largo de la gestación debido a la ganancia de PC diaria de todos los tejidos maternos y fetales antes y después del día 70 de gestación, por lo que han sugerido una estrategia de alimentación dividida en dos fases, la primera del día 0 al día 70 de gestación y la segunda del día 70 a parto, nombrándolas: gestación temprana y gestación tardía, argumentando que las cerdas gestantes requieren 147 y 330 g/d de proteína en cada una de esas etapas, para poder soportar las necesidades biológicas, ya que tomando en cuenta el índice de aumento de los fetos de manera individual es aproximadamente de 4.1 y 29.6 g/d en dichas etapas, por lo que el incremento de la proteína después del día 70 de la gestación puede ayudar a mejorar el crecimiento de los fetos y las condiciones maternas. Por lo mencionado anteriormente, las cerdas gestantes deben ser alimentadas adecuadamente, y un programa de alimentación en dos fases puede ser efectivo y

eficiente en aumentar el crecimiento fetal y aumentar la proteína materna, lo que disminuye la excreción de N al medio ambiente.

La medición de los niveles de la grasa dorsal (GD) constituye un objetivo mayor y método preciso para asegurar la condición corporal de las cerdas (Charette *et al.*, 1996). Mullan y Williams (1990) mostraron que los niveles de GD y el peso corporal pueden ser usados para predecir la cantidad total de lípidos en el cuerpo de la cerda. Desde que el grosor de la GD refleja el contenido total de grasa de la cerda, esto puede ser usado para checar si la estrategia de alimentación aplicada es óptima, y si no es el caso, modificarla de acuerdo al resultado de la medición.

Como lo hicieron Maes *et al.*, (2004), quienes evaluaron diferentes hatos comerciales tomando mediciones de GD y asociándolo con la eficiencia reproductiva, notaron que los niveles de GD fueron muy variantes entre hatos debido principalmente a las diferencias en crianza y nivel de alimentación, encontrando además, una relación negativa significativa entre los niveles de GD al final de la gestación y el porcentaje de lechones nacidos muertos, implicando con esto el desecho de cerdas con limitados niveles de GD a parto. La medición de la GD constituye una herramienta para monitorear y mejorar la productividad y eficiencia de hatos altos productores, pues estudios han demostrado que la evaluación visual de la condición corporal no es suficiente, y se demuestra con la baja correlación que esta tiene con la medición de la GD ($r^2 = 0.30-0.60$).

El manejo de la alimentación debe hacerse de acuerdo a los requerimientos de cada cerda, ya que son diferentes de acuerdo con la edad y número de parto, (Renteria *et al.*, 2007), nivel de producción, comportamiento, condiciones de alojamiento, en orden para mantener las reservas corporales dentro de una zona óptima a lo largo de la vida reproductiva y para maximizar su longevidad. (Dourmad *et al.*, 1994).

O'Dowd *et al.*, (1997) evaluaron la aplicación de un régimen alimenticio para promover y conservar las reservas de grasa corporal, otorgaron una dieta baja en proteína antes y durante la gestación, y en la lactancia proporcionaron una dieta con alta densidad de nutrientes, al compararlas con el grupo control, notaron que las cerdas alcanzaron mayor GD al primer parto, perdieron menos peso y GD durante la lactancia a lo largo de tres ciclos reproductivos y

requirieron menos alimento en cada gestación para obtener una condición corporal aceptable antes del parto, argumentando con esto que el empleo de estrategias nutricionales para aumentar las reservas corporales de grasa pueden mejorar la fertilidad y longevidad de cerdas genéticamente magras

3. JUSTIFICACIÓN

A partir de junio del 2007 la porcicultura experimentó una crisis mundial, debido principalmente a la producción de etanol a partir de maíz, como fuente alterna de energía; lo que a su vez “arrastró” cuesta arriba el precio de cereales y oleaginosas. Esta crisis prevalece hoy en día en México, ocasionando que grandes y pequeños poricultores estén cerrando sus granjas, debido al elevado costo del alimento (80% de los costos totales). Por lo que, es necesario buscar alternativas a las fuentes convencionales de proteína y energía, dirigidas a cubrir las necesidades de un importante sector que representa el 30% de la porcicultura nacional, y que corresponde a la porcicultura de traspatio o familiar; siendo este modo de producción el que mejor se puede adaptar a los sistemas alternos de alimentación.

Dentro de estas alternativas, se pueden encontrar como ingredientes no convencionales, aquellos que llegan a representar una importante fuente de contaminación ambiental en las grandes ciudades, tal es el caso de productos como el plátano de desecho y productos embutidos de ave, no aptos para el consumo humano, y que en el caso de las cerdas gestantes, debido a sus menores exigencias nutrimentales, pueden reemplazar de manera importante, parte del grano y la soya de la dieta. De la misma manera en que se ha hecho con otros ingredientes antes de ser implementados en la alimentación animal, es necesario evaluar el aprovechamiento de los ingredientes alternativos mediante pruebas de digestibilidad y el comportamiento productivo de los animales según la etapa en la que se desee implementar dichos ingredientes.

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL: Evaluar la digestibilidad de dietas convencionales sorgo-soya y dietas combinadas sorgo-soya, ensilado de plátano-sorgo y ensilado de embutido de ave; y su efecto en el comportamiento productivo durante la gestación

OBJETIVOS ESPECIFICOS

1.- Determinar en cerdas gestantes la digestibilidad total en el tracto gastrointestinal (DTTGI) de: materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC) y energía bruta (EB), en dietas convencionales formuladas a base de sorgo-soya (SS), en comparación con dietas no convencionales formuladas a base de SS, pero adicionadas con ensilado de plátano-sorgo (EPS) y ensilado de embutidos de ave (EEA).

2.- Evaluar el comportamiento productivo durante la gestación: ganancia diaria de peso (GDP) y ganancia de grasa dorsal (GGD), en cerdas alimentadas con dietas que incluyan SS + EPS + EEA.

5. HIPÓTESIS

1.- La digestibilidad de los nutrimentos y de la energía de dietas no convencionales, formuladas a base de SS, incluyendo EPS y EEA como ingredientes alternativos en la alimentación de cerdas gestantes, no difiere con la de una dieta convencional a base de SS.

2.- El comportamiento productivo de cerdas reproductoras alimentadas durante la gestación, con dietas no convencionales formuladas a base de SS + EPS y EEA como ingredientes alternativos, es similar al de aquellas alimentadas con una dieta convencional a base de SS.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo fue dividido en dos pruebas, ambas con cerdas gestantes:

- Prueba de digestibilidad
- Prueba de comportamiento

Lugar

El estudio se realizó en el Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Producción Porcina (CEIEPP), de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). El CEIEPP se encuentra ubicado en el municipio de Jilotepec estado de México, cuyas coordenadas geográficas son: latitud norte 19' 57'', longitud oeste 99' 32'', a 2440 msnm, predominan los climas C(w1) y C(w2) templados subhúmedos (Secretaría de desarrollo Urbano, 2007). El trabajo se llevó a cabo durante los meses de septiembre de 2009 a enero de 2010, en los que se registró una temperatura promedio de 17°C.

6.1 Prueba de digestibilidad:

6.1.1 Animales

Se utilizaron 6 cerdas híbridas F1 (York-Landrace), multíparas gestantes, con un promedio de parto de 2.8 ± 1.0 y un peso vivo promedio de 185.33 ± 34.77 Kg; las cuales se encontraban en el segundo tercio de la gestación (entre el día 55 y 61). El cuidado y uso de los animales se llevó a cabo acorde a las normas establecidas por el Comité Institucional para el Cuidado y Uso de los Animales Experimentales CICUAE-FMVZ-UNAM.

6.1.2 Alojamiento

Las cerdas permanecieron durante la prueba en la sala de gestación de la propia granja, la cual cuenta con jaulas individuales estándares (2.20 m de largo x 0.6 m de ancho x 1.0 m de altura), piso emparrillado de cemento, comedero de canaleta y bebedero de mordida.

6.1.3 Dietas

Se llevó a cabo la comparación de tres dietas, una dieta convencional (T1) y dos dietas no convencionales (T2 y T3), con la finalidad de determinar la DTTGI, tanto de la MS, PC y MO, como de los valores de ED. Cada dieta comprendió a un tratamiento como se describe a continuación:

- T1, correspondió a una dieta convencional a base de SS, más aceite vegetal, carbonato de calcio, ortofosfato monocalcico, premezcla vitamínica y premezcla mineral.
- T2, dieta alternativa a base de SS, más aceite vegetal, carbonato de calcio, ortofosfato monocalcico, premezcla vitamínica y premezcla mineral, (lo anterior conformó el 80% de la dieta), más una mezcla incluyendo EPS (5%) y EEA (15%).
- T3, dieta alternativa a base de SS, más aceite vegetal, carbonato de calcio, ortofosfato monocalcico, premezcla vitamínica y premezcla mineral (conformando el 60% de la dieta), y una mezcla de EPS (10%), más EEA (30%).

Las dietas se formularon con aportes semejantes de PC (13.6 % en MS), y cantidades similares de energía metabolizable (3.173 Mcal EM/kg de MS), con la finalidad de cubrir los requerimientos recomendados por (NRC 1998), para la etapa de gestación. El aporte de energía se estimó con base en el método señalado por Rentería *et al.*, (2007), correspondiendo a un aporte energético diario basado en el peso metabólico de las cerdas; así como en la ganancia de peso estimada durante la gestación, y el número y peso promedio de los productos nacidos en partos anteriores:

- Requerimiento total de EM durante la gestación = Requerimiento de EM para mantenimiento + Requerimiento de EM para ganancia materna + Requerimiento de EM para los productos de la concepción

Donde:

-Requerimiento de EM para mantenimiento (Kcal) = Peso vivo, kg^{0.75} X 106 kcal EM

-Requerimiento de EM para ganancia materna (Kcal) = (Ganancia materna, kg X 5000)/114 x 0.9636

-Requerimiento de EM para los productos de la concepción (Kcal)= (Lechones Nacidos Vivos x Peso del lechón al nacimiento, kg X 1.150)/114 x 0.9636

Para poder llevar a cabo la formulación de las dietas de los distintos tratamientos, con iguales aportes de proteína y de energía, primero se realizó una prueba piloto elaborando ensilados de plátano con diferente porcentaje de inclusión de sorgo (20, 30 y 40 %); esto con el objetivo de reducir la humedad en el ensilado y promover con ello una adecuada fermentación. Se dejaron fermentar durante 10 días, posteriormente se abrieron y se registraron las características organolépticas (color, olor, consistencia) y pH; además se llevó a cabo la determinación de las características a través de un análisis químico proximal, con la finalidad de elegir aquel cuya composición química presentara las mejores características nutricionales (aportes de energía y proteína), se eligió al ensilado con 40% de inclusión de sorgo y 60% de plátano (Anexo 1), registrando las características organolépticas de éste, (color marrón, olor afrutado, consistencia firme con poca generación de agua, pH 3.9). A pesar del elevado contenido de humedad del EEA no se realizaron pruebas piloto, ya que su consistencia es firme; sus características químicas se muestran en el Anexo 2.

Se empleó el óxido de cromo (Cr_2O_3) como marcador a razón de 2 g/kg de alimento para la prueba de digestibilidad (Kavanagh *et. al.*, 2001).

Sin embargo, a pesar de que los ingredientes alternos fueron analizados para obtener su composición química, los valores reales de las dietas no correspondió a los esperados: T1= 12.60; T2= 12.76; T3= 13.08 % de PC en MS (promedio = 12.81); y T1= 3.16; T2= 2.84; T3= 2.87 Mcal EM/kg de MS; (promedio =2.96). Los ingredientes, las características químicas, y los aportes calculados y reales de las dietas, se presentan en el Anexo 3. En este mismo anexo se reporta la cantidad de NaCl, el cual fue necesario conocer para explicar los resultados obtenidos; la manera en que fue determinado se presenta en el Anexo 4.

❖ Elaboración de ensilados

-Ensilado de Plátano-Sorgo (EPS).- Una vez determinadas las proporciones idóneas de sorgo (40%) y plátano (60%), el ensilado se elaboró dentro de la misma granja en donde se llevó a cabo la prueba. Se troceó el plátano con todo y cascara, para aumentar la superficie de contacto entre los componentes que conformaron el ensilado (el plátano utilizado principalmente fue de la variedad Chiapas) y se mezcló uniformemente con sorgo molido. La mezcla se vertió en botes de plástico con capacidad de 200L y después de colocar cada capa de 40cm se apisonó para compactarle y extraer la mayor cantidad posible de aire. Una vez lleno el tambo se roció en la superficie una dilución de ácido propiónico en agua al 2% para evitar el crecimiento de hongos. Finalmente el tambo se cubrió con plástico auto adherible "Playo"TM y se dejó fermentar por al menos 15 días.

-Ensilado de embutido de ave (EEA).- En primera instancia se limpió el producto retirando la envoltura de protección, se colocó en un piso limpio y se troceó con una pala para aumentar la superficie de contacto entre los ingredientes, se agregó una dilución de ácido propiónico en agua al 2% (3L de la dilución/200 kg de embutido) y melaza diluida con agua al 50% (7L de melaza diluida/200kg de embutido), como fuente de carbohidratos. Todo fue mezclado considerablemente y embazado en tambos de 200 L, conforme se realizó el llenado de los tambos, se apisonó la mezcla para sacar lo más posible el aire. El tambo fue llenado aproximadamente a un 97%, esto para dejar un espacio libre y evitar que se derramara por efecto del gas producido. El ensilado se dejó fermentar por lo menos durante 15 días antes de ser abierto y ser utilizado en la prueba.

El procedimiento de ensilaje fue adaptado de protocolos empleados por diferentes autores (Tatterson, 1982; Aguilera *et al.*, 1997).

6.1.4 Procedimiento y toma de muestras

Las cerdas se adaptaron a las dietas por un periodo de 7 días, durante el cual se les proporcionó 50% de su dieta cotidiana y 50% de la nueva dieta.

Durante la prueba, cada cerda recibió de manera alterna una de las 3 dietas experimentales, durante tres periodos sucesivos de 7 días cada uno (4 días de adaptación a la dieta y 3 días para el muestreo), el nivel de consumo de cada cerda se ajustó al requerimiento diario de energía para cada una de las dietas, cubriendo las necesidades establecidas a través del método sugerido por Rentería, *et al.*, (2007).

El alimento y los ensilados fueron pesados diariamente antes de ser proporcionados a las cerdas, para ésto se utilizó una báscula analítica con precisión de 1g marca “esnova”. El horario de alimentación fue fijo, dos veces al día a las 07:00 y 13:00 hrs. Durante la prueba no hubo rechazo de alimento y las cerdas siempre tuvieron libre acceso al agua, a través de un bebedero de mordida.

Para cada periodo de prueba las cerdas se adaptaron a las dietas por 4 días (Le Goff *et al.*, 2002b) y a partir del primer día de iniciado cada periodo de adaptación, se tomó una muestra representativa de 200 g/día/tratamiento, tanto de la fracción en harina de los alimentos, como de los ensilados; éstas últimas se conservaron a -20°C. Al finalizar la prueba, se hizo una alícuota por tratamiento y periodo, a partir de la cual se tomó una sub-muestra de 400g, con la finalidad de determinar el contenido de MS de cada dieta y posteriormente emplearlas para el análisis químico proximal, de acuerdo a las técnicas establecidas por la AOAC (1990).

Transcurridos los 4 días de adaptación a la dieta, se llevó a cabo el muestreo de heces durante los siguientes 3 días cubriendo un horario de muestreo de 12 hrs (Anexo 5). Las heces se colectaron en bolsas de polietileno previamente identificadas, tomando 200 g/cerda/día (Yan *et al.*, 1995; Amaefule *et al.*, 2006), con la finalidad de acumularlas y conservarlas a una temperatura de -20°C. Transcurrido el periodo de colección, las muestras fueron homogenizadas y se obtuvo una muestra compuesta de 400 g correspondiente a cada animal, para posteriormente llevar a cabo el análisis químico proximal, de acuerdo a las técnicas establecidas por la AOAC (1990). Estas mismas muestras fueron empleadas para determinar la presencia del marcador.

6.1.5 Análisis químico.

Las muestras obtenidas de las dietas y de las heces fueron trabajadas en el laboratorio de nutrición, del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la FMVZ-UNAM.

Tanto en el alimento como en las heces el contenido de humedad, MS, PC y cenizas, fueron determinados a través de los métodos establecidos por la AOAC (1990); el contenido de energía bruta de las dietas y de las heces, se determinó empleando una bomba calorimétrica adiabática marca Parm 6400.

El marcador se determinó tanto en el alimento como en las heces, a través de la técnica propuesta por Hill y Anderson, (1958). Se utilizó un espectrofotómetro de luz visible de la marca Thermo Fisher Scientific modelo Genesys 10 Vis, empleando una longitud de onda de 430 nm para determinar el contenido de Cr₂O₃ en ambos tipos de muestra.

-Elaboración de estándares.- Para llevar a cabo la lectura de las muestras, se elaboraron estándares. Para esto, se pesaron 0.5g de cromo colocándolo en un vaso de precipitado, este se trabaja igual que las muestras de heces y alimento, una vez obtenido el concentrado de cromo, se hicieron los estándares con concentraciones de 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.15 y 0.5 mg/ml de agua desionizada.

6.1.6 Variables evaluadas

A partir de la prueba de digestibilidad se obtuvieron las siguientes variables:

- ❖ Materia seca fecal (**MSF**)
- ❖ Materia orgánica fecal (**MOF**)
- ❖ Proteína fecal (**PROTF**)
- ❖ Energía bruta fecal (**EBF**)
- ❖ Digestibilidad de la materia seca (**DMS**)
- ❖ Digestibilidad de la materia orgánica (**DMO**)

- ❖ Digestibilidad de la proteína cruda(**DPC**)
- ❖ Digestibilidad de la energía bruta (**DEB**)
- ❖ Energía digestible por día (**ED/d**)
- ❖ Energía digestible por kg de MS (**ED/kg**)

Como variables independientes a los tratamientos se establecieron:

- ❖ Consumo diario de materia seca (**CMS**)
- ❖ Consumo diario de materia orgánica (**CMO**)
- ❖ Consumo diario de proteína cruda (**CPC**)
- ❖ Consumo diario de energía bruta (**CEB**)

Para determinar la MS, MO, PC y EB en heces y la digestibilidad de los nutrientes se emplearon los procedimientos señalados por Galyean (1980).

$$MSF = \frac{\text{Cr en la ración}}{\text{Cr en heces}} * CMS$$

$$MOF = MSF * \% \text{ cenizas en heces}$$

$$PROTF = MSF * \% \text{ proteína cruda en heces}$$

$$EBF = MSF * \text{energía bruta en heces}$$

Los coeficientes de digestibilidad aparente fueron obtenidos empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Digestibilidad de un nutriente (\%)} = 100 - 100 \times [(\%MA/\%MH)(\%NH/\%NA)]$$

Donde:

%MA = % de Marcador en el alimento

%MH = % de Marcador en las heces

%NH = % de Nutriente en las heces

%NA = % de Nutriente en el alimento

6.1.7 Diseño experimental y análisis estadístico

Las cerdas fueron distribuidas al azar en un diseño experimental de doble cuadrado latino de 3x3 (3 tratamientos en 3 periodos) (Steel and Torrie, 1960), el cual se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Distribución de los tratamientos en un doble cuadrado latino, para la prueba de digestibilidad

| Periodo | Número de animal | | | | | |
|---------|------------------|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 |
| 2 | T2 | T3 | T1 | T2 | T3 | T1 |
| 3 | T3 | T1 | T2 | T3 | T1 | T2 |

Los datos fueron analizados para un cuadrado latino 3 x 3 replicado, utilizando ProcMixed de SAS (Ver 9.0, 2002), acorde al siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + P_{j:k} + S_k + C_{l:k} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variable dependiente, por efecto del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo periodo y el k-ésimo cuadrado

μ = Media general

T_i = Efecto fijo de tratamiento i (i=1...3)

$P_{j:k}$ = Efecto fijo de periodo j dentro de cuadrado k (j=1...3)

S_k = Efecto fijo de cuadrado k (k = 1,2)

$C_{l:k}$ = Efecto aleatorio de cerda l dentro de cuadrado $\sim N(0, \delta^2)$, (l= 1...3)

ϵ_{ijkl} = Error residual $\sim N(0, \delta^2)$

Para las comparaciones de medias entre los tratamientos, se utilizó la prueba de diferencia honesta de Tukey (Tukey, 1949).

6.2 Prueba de comportamiento:

6.2.1 Animales

Se emplearon quince cerdas híbridas F1 (York-Landrace) distribuidas en un diseño completamente al azar en tres tratamientos con 5 repeticiones cada uno, correspondientes a una dieta convencional (T1) y dos dietas alternativas (T2 y T3), a partir de los 28 días de gestación (preñez confirmada con un aparato de ultrasonido de tiempo real Agroscan A8™). El promedio del número de parto (Anexo 6) y peso vivo de las cerdas de cada tratamiento fue: 3.53 ± 1.3 partos y 193.2 ± 31.53 kg, respectivamente.

6.2.2 Alojamiento

Las cerdas permanecieron en jaulas de gestación tamaño estándar, del momento de la inseminación, al día 57 de la preñez; éstas cuentan con piso emparrillado de cemento, comedero de canaleta y bebedero de mordida. Al momento del segundo pesaje, las cerdas se trasladaron a corrales individuales con dimensiones de 2.23 x 4.85 m, con piso de cemento y bebedero de mordida, en donde permanecieron hasta el día 107 de la gestación, momento en que se realizó el último pesaje; posteriormente se llevaron a la sala de maternidad.

6.2.3 Dietas

Tanto para la prueba de digestibilidad como para la prueba de desempeño productivo, se emplearon las mismas dietas de los tratamientos T1, T2 y T3. Los ensilados utilizados en esta etapa se elaboraron junto con los de la prueba de digestibilidad, siguiendo los mismos procedimientos.

6.2.4 Procedimiento durante la prueba

A los 21 días de haberse inseminado, las cerdas fueron pesadas y se les midió la grasa dorsal (GD); con base en estos datos y los de su historial productivo, se determinó el requerimiento de energía

metabolizable por cerda (Renteria, *et al.*, 2007). Una vez confirmada la gestación (al día 28), se inició la prueba de comportamiento.

El alimento y los ensilados fueron pesados diariamente antes de ser proporcionados a las cerdas, para esto se utilizó una báscula analítica con precisión de 1g marca "esinova".

Las cerdas se mantuvieron alojadas de forma individual, para que en caso de presentar rechazo de alimento, fuera posible medir su consumo, éste se fijó para la primera etapa de gestación, que comprendió del día 29 al 57, con base a su peso metabólico (Renteria, *et al.*, 2007); sin embargo, como varias cerdas presentaron pobre condición corporal desde el inicio de la prueba, el consumo se ajustó del día 58 al 107 de la gestación (segunda etapa), a partir del peso metabólico, historial productivo y condición corporal de las cerdas, siguiendo los criterios de Young *et al.*, (2004) y Renteria, *et al.*, (2007).

El horario de alimentación fue fijo, dos veces al día a las 07:00 y 13:00 hrs. Durante la prueba no hubo rechazo de alimento y las cerdas tuvieron libre acceso al agua, a través de un bebedero de mordida.

Las cerdas fueron pesadas 3 veces durante la gestación, a los 21, 57 y 107 días, así mismo se midió y registró la GD con un aparato de ultrasonido marca Lean Meater S-H RENCO[®], la medición se hizo en el P2 a nivel de la última costilla (Young *et al.*, 2005). Para ubicar un solo sitio de medición de la grasa en cada cerda y asegurar que éste fuese siempre el mismo en todas las evaluaciones, se eliminó la cerda del área correspondiente.

Se calculó la composición corporal de las cerdas durante la gestación, aplicando el modelo 3, propuesto por Everst y Dekker (1995).

$$\text{Modelo: } Y = C + \beta_1 * LW_c + \beta_2 * BFT$$

Donde:

C, β_1, β_2 = constantes

LW_C = Peso Vivo – Peso Camada (1.65)

BFT = Grasa dorsal

Cuadro 6. Constantes para la determinación de la composición corporal de cerdas gestantes.

| | C | β_1 | β_2 |
|---------------|-------|-----------|-----------|
| Agua (Kg) | +6.88 | +0.615 | -1.693 |
| Proteína (kg) | +1.67 | +0.175 | -0.377 |
| Grasa(kg) | -10.4 | +0.110 | +1.997 |

De acuerdo a lo anterior, las ecuaciones para determinar agua, proteína y grasa corporal fueron las siguientes:

$$\text{Agua} = 6.88 + (0.615 * \text{Peso Vivo} - \text{Peso Camada (1.65)}) + (-1.693 * \text{GD})$$

$$\text{Proteína} = 1.67 + (0.175 * \text{Peso Vivo} - \text{Peso Camada (1.65)}) + (-0.377 * \text{GD})$$

$$\text{Grasa} = -10.4 + (0.11 * \text{Peso Vivo} - \text{Peso Camada (1.65)}) + (1.997 * \text{GD})$$

6.2.5 Variables evaluadas

Con el procedimiento llevado durante la prueba y los datos obtenidos en el laboratorio de nutrición, del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la FMVZ-UNAM, se obtuvieron las siguientes variables:

- ❖ Peso a los 21, 57 y 107 días de gestación (**P21, P57, P107**)
- ❖ Diferencias entre las ganancias de peso durante la gestación (**P57-P21, P107-P57**)
- ❖ Ganancia Total de Peso durante la gestación que corresponde a la diferencia de **P107-P21**

- ❖ Grasa dorsal a los 21, 57 y 107 días de gestación (**GD21, GD57, GD107**)
- ❖ Diferencias en la grasa dorsal durante la gestación (**GD57-GD21, GD107-GD57**)
- ❖ Ganancia Total de Grasa durante la gestación que corresponde a la diferencia de **GD107-GD21**
- ❖ Consumos de Materia Seca a los 57 y 107 de gestación (**CMS57d y CMS107d**)
- ❖ Consumo Promedio de Materia Seca (**CPMS**)
- ❖ Consumo Total de Materia Seca durante la gestación (**CTMS**)
- ❖ Consumo de Energía Metabolizable a los 57 y 107 días de gestación (**CEM57d, CEM107d**)
- ❖ Consumo Promedio de Energía Metabolizable (**CPEM**)
- ❖ Consumo Total de Energía Metabolizable (**CTEM**)
- ❖ Consumo de Proteína Cruda a los 57 y 107 días de gestación (**CPC57d y CPC107d**)
- ❖ Consumo Promedio de Proteína Cruda (**CPPC**)
- ❖ Consumo Total de Proteína Cruda (**CTPC**)

Composición corporal

Para obtener las siguientes variables se aplicaron las ecuaciones del modelo 3, propuesto por Everst y Dekker (1995).

- ❖ Agua Corporal a los 21, 57 y 107 días de gestación (**AgC21, AgC57 y AgC107**)
- ❖ Proteína Corporal a los 21, 57 y 107 días de gestación (**PrC21, PrC57 y PrC107**)
- ❖ Grasa Corporal a los 21, 57 y 107 días de gestación (**GrC21, GrC57 y GrC107**)
- ❖ Ganancia de agua corporal durante la gestación (**GAgC**) que corresponde a AgC107-AgC21
- ❖ Ganancia de proteína corporal (**GPrC**) durante la gestación que corresponde a PrC107-PrC21
- ❖ Ganancia de grasa corporal (**GGrC**) durante la gestación que corresponde a GrC107-GrC21

Al momento del parto se registraron los datos para obtener las siguientes variables:

- ❖ Lechones Nacidos Vivos (**LNV**)
- ❖ Lechones Nacidos Totales (**LNT**)

- ❖ Peso de la Camada al Nacimiento (**PCNac**)
- ❖ Peso Promedio al Nacimiento (**PPNac**)

6.2.6 Diseño experimental y análisis estadístico

Las cerdas se distribuyeron en los tres tratamientos, cada uno conformado por 5 cerdas, de acuerdo a un arreglo completamente al azar (Kuehl, 2001).

Modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta x_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta

μ_i = Media general de la población

βx_{ij} = Efecto del i-ésimo tratamiento para la j-ésima variable de una observación

ϵ_{ij} = Efecto del error experimental en el i-ésimo tratamiento de la j-ésima variable

Para determinar la presencia del efecto de las covariables (P21, P57, P107, GD21, LNV) se estableció el modelo correspondiente (Kuehl, 2001).

Modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta (x_{ij} - X) + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta

τ_i = Efecto producido por el i-ésimo tratamiento.

β = Coeficiente de regresión lineal (es la cantidad en que se modifica la variable de respuesta, por cada cambio unitario de la covariable).

x_{ij} = Es el valor de la covariable correspondiente a la Y_{ij} observación

X = Es la media de la covariable

ϵ_{ij} = Es el efecto del i-ésimo error

Para las variables evaluadas se realizó una prueba de homogeneidad de las varianzas de Levene, en el caso donde se encontraron diferencias ($P < 0.05$) se llevó a cabo una prueba de contrastes; al cumplirse el supuesto de $\sigma = 0$, las variables se analizaron por un análisis de varianza (ADEVA) y para determinar la diferencia entre medias se realizó la prueba de Tukey (Tukey, 1949), utilizando JMP (2000).

7. RESULTADOS

7.1 Prueba de digestibilidad

Como se puede apreciar en el Cuadro 7, CMS, CMO, CPC y CEB no fueron sometidos a un análisis estadístico, dado que dichas variables fueron establecidas de acuerdo al método señalado por Renteria et al., (2007) y por consiguiente son independientes a los efectos de los tratamientos.

Los valores de MSF, MOF, PROTF y EBF, fueron menores ($P < 0.001$) en T1, en comparación a T2 y T3, con los siguientes valores: 205.03, 320.88 y 310.20 g/día de MSF; 155.65, 242.69 y 235.44 g/día de MOF; 35.99, 55.66 y 53.31 g/día de PROTF; y 1.08, 1.73 y 1.72 Mcal/día de EBF, respectivamente.

En cuanto a la digestibilidad de las dietas hubo diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.001$) siendo la dieta de T1 la que presentó mayor digestibilidad seguida de T3 y T2, con los siguientes valores (89.73, 84.22, 83.90 %; 91.74, 87.19, 87.03 %; y 85.97, 79.69, 78.50 %) para DMS, DMO y DPC, respectivamente, siendo T2 y T3 similares entre sí.

Por otra parte los aportes de ED/kg, fueron mayores ($P < 0.001$) en T1 (3.358 Mcal ED/kg), seguido por T3 (3.053 Mcal ED/kg) y T2 (3.020 Mcal ED/kg), esta misma tendencia se observa en el coeficiente de digestibilidad de la energía.

Cuadro 7. Consumo, excreción fecal y digestibilidad de la materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC) y energía bruta (EB), de dietas sorgo-soya (SS), con la inclusión de ensilados de plátano-sorgo (EPS) y embutidos de ave (EEA), en cerdas gestantes.

| | T1 | T2 | T3 | P | ee |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|---------|
| Consumo (g/d) | | | | | |
| CMS | 2002.27 | 1998.20 | 1971.68 | | |
| CMO | 1891.56 | 1877.46 | 1844.86 | | |
| CPROT | 258.99 | 259.97 | 264.19 | | |
| CEB (Mcal) | 7.8116 | 7.7766 | 7.7616 | | |
| Excreción fecal (g/d) | | | | | |
| MSF | 205.03 ^b | 320.88 ^a | 310.20 ^a | 0.0001 | 101.66 |
| MOF | 155.65 ^b | 242.69 ^a | 235.44 ^a | 0.0001 | 56.72 |
| PROTF | 35.99 ^b | 55.66 ^a | 53.31 ^a | 0.0001 | 4.80 |
| EBF (Mcal/kg) | 1.08 ^b | 1.73 ^a | 1.72 ^a | 0.0001 | 0.002 |
| Digestibilidad total (%) | | | | | |
| DMS | 89.73 ^a | 83.90 ^b | 84.22 ^b | 0.0001 | 0.00186 |
| DMO | 91.74 ^a | 87.03 ^b | 87.19 ^b | 0.0001 | 0.00129 |
| DPC | 85.97 ^a | 78.50 ^b | 79.69 ^b | 0.0002 | 0.00794 |
| DEB | 86.04 ^a | 77.59 ^b | 77.64 ^b | 0.0001 | 0.42251 |
| ED (Mcal/d) | 6.7250 ^a | 6.0350 ^b | 6.0316 ^b | 0.0003 | 0.00963 |
| ED (Mcal/kg) | 3.3583 ^a | 3.0200 ^b | 3.0533 ^b | 0.0004 | 0.00224 |

T1 = Sorgo-soya.

T2 = T1 + sorgo-plátano (5%) + embutido (15%)

T3 = T1 + sorgo-plátano (10%) + embutido (30%)

ee = Error estándar

^{a, b, c} Literales diferentes en la misma fila indican diferencia estadística

7.2 Prueba de comportamiento

El consumo de alimento fue preestablecido para cubrir las necesidades de energía metabolizable de las cerdas, a partir del peso vivo, la ganancia estimada de peso por número de parto y el historial productivo de las mismas (Renteria *et al.*, 2007); por consiguiente, el consumo al día 57 dependió principalmente de la covariable peso inicial (P21).

A partir del día 58 al 107 de gestación, el consumo fue ajustado y la cantidad de alimento que se ofreció se basó en su historial productivo, peso y condición corporal de las cerdas, siguiendo los criterios de Young *et al.*, (2004) y Renteria, *et al.*, (2007), (Cuadro 8).

Cuadro 8. Consumo de materia seca (MS), energía metabolizable (EM) y proteína cruda (PC) por las cerdas de los tres tratamientos durante la gestación.

| Variables | T1 | T2 | T3 |
|-----------------------------|---------|---------|---------|
| Consumo de MS (kg) | | | |
| CMS57d | 1.986 | 2.167 | 2.321 |
| CMS107d | 2.402 | 2.707 | 2.860 |
| CPMS | 2.223 | 2.472 | 2.595 |
| CTMS (kg) | 185.855 | 205.230 | 210.327 |
| Consumo de EM (Mcal) | | | |
| CEM57d | 6.269 | 6.152 | 6.666 |
| CEM107d | 7.580 | 7.686 | 8.215 |
| CPEM | 7.016 | 7.019 | 7.455 |
| CTEM (Mcal) | 586.56 | 567.97 | 604.06 |
| Consumo de PC (kg) | | | |
| CPC57d | 0.250 | 0.276 | 0.303 |
| CPC107d | 0.302 | 0.345 | 0.374 |
| CPPC | 0.280 | 0.315 | 0.339 |
| CTPC (Kg) | 23.412 | 26.193 | 27.502 |

T1 = Sorgo-soya.

T2 = T1 + sorgo-plátano (5%) + embutido (15%)

T3 = T1 + sorgo-plátano (10%) + embutido (30%)

En cuanto a las variables relacionadas con peso y grasa dorsal, se puede observar en el Cuadro 9, la ausencia de diferencias entre los tratamientos ($P > 0.05$). Sin embargo las variables P57, P107, y P107-P21, se vieron afectadas por la covariable P21 ($P < 0.001$); y GD57 y GD107, por la covariable GD21 ($P < 0.01$).

En el mismo cuadro, se puede apreciar que las cerdas de T3 fueron las más pesadas desde el inicio de la prueba (208.0 kg), seguidas por las hembras de T1 (192.0 kg) y T2 (179.6 kg). El efecto del peso inicial se mantuvo a lo largo de la prueba, a pesar de que las cerdas de T2 presentaron la mayor diferencia de P107-P21 (ganancia de peso) ($P = 0.0246$), con los siguientes valores: T2= 58.60 kg seguido por T1= 53.20 kg y T3= 51.40 kg, respectivamente (Cuadro 9).

Respecto a la grasa dorsal, el comportamiento fue similar al observado en el peso corporal, siendo las cerdas de T3 las que presentaron mayor acumulo de tejido graso, particularmente en la segunda y tercera medición (17.50 y 19.64 mm), seguido de T1 (17.40 y 18.70 mm) y T2 (15.40 y 18.14 mm), respectivamente (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto de la inclusión de ensilados de plátano-sorgo (EPS) y embutidos de ave (EEA) en la dieta de cerdas gestantes, sobre el peso corporal (kg), la grasa dorsal (mm) y sus variaciones durante la gestación a los 21, 57 y 107 días.

| Variables | † | T1 | T2 | T3 | ee | EFFECTO POR Tx | COV. |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|----------------|-------------------------|
| Peso corporal (kg) | | | | | | | |
| P21 | 0.3211 | 192.00 | 179.60 | 208.00 | 14.079 | 0.3889 | P21¹ |
| P57 | 0.4638 | 211.00 | 198.40 | 229.00 | 13.102 | 0.2893 | 0.0001 |
| P107 | 0.6010 | 245.00 | 238.20 | 259.40 | 11.923 | 0.4634 | 0.0001 |
| Variación de peso (kg) | | | | | | | |
| P57-P21 | 0.4645 | 19.00 | 18.80 | 21.00 | 2.722 | 0.8217 | >0.05 |
| P107-P57 | 0.5171 | 34.20 | 39.80 | 30.40 | 3.579 | 0.2162 | >0.05 |
| P107-P21 | 0.6221 | 53.20 | 58.60 | 51.40 | 4.276 | 0.4855 | 0.0246 |
| Grasa dorsal (mm) | | | | | | | |
| GD21 | 0.8050 | 15.40 | 14.80 | 15.20 | 1.109 | 0.9274 | GD21² |
| GD57 | 0.3528 | 17.40 | 15.40 | 17.50 | 1.178 | 0.3933 | 0.0060 |
| GD107 | 0.2118 | 18.70 | 18.14 | 19.64 | 1.283 | 0.7125 | 0.0061 |
| Variación de GD (mm) | | | | | | | |
| GD57-GD21 | 0.1781 | 2.00 | 0.60 | 2.30 | 0.866 | 0.3649 | >0.05 |
| GD107-GD57 | 0.0538 | 1.30 | 2.74 | 2.14 | 0.715 | 0.3893 | >0.05 |
| GD107-GD21 | 0.4173 | 3.30 | 3.34 | 4.44 | 0.918 | 0.6211 | >0.05 |

T1 = Sorgo-soya

T2 = T1 + sorgo-plátano (5%) + embutido (15%)

T3 = T1 + sorgo-plátano (10%) + embutido (30%)

ee = Error estándar

† Prueba para homogeneidad de la varianza

Tx= Tratamiento; COV.= Covariable

^{1,2} COV. Peso y Grasa Dorsal a los 21 días de gestación

No hubo diferencia ($P>0.05$) entre los distintos tratamientos para la composición corporal de las cerdas en cuanto a agua, proteína y grasa, pero si se vieron afectadas ($P= 0.0001$), por el peso corporal (COV. P21, P57 y P107). En cuanto a la ganancia de estos componentes a lo largo de la gestación, los resultados fueron inconsistentes y no se observaron diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos; sin embargo, hubo una tendencia en la GAgC que presentó mayor valor en T2 (30.384kg) comparada con T1 (27.131kg), y T3 (24.094kg). La GPrC presentó un comportamiento similar, con mayor valor de deposición en T2 (8.995kg), seguido de T1 (8.065kg) y T3 (7.321kg); mientras que la GGrC fue mayor en T3 (14.520kg), seguido de T2 (13.115kg) y de T1 (12.442kg), (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto de la inclusión de ensilados de plátano-sorgo (EPS) y embutidos de ave (EEA) en la dieta de cerdas gestantes, sobre la composición corporal: agua (AgC), proteína (PrC) y grasa (GrC), a los 21, 57 y 107 días de gestación.

| Variables | † | T1 | T2 | T3 | ee | EFECTO POR Tx COV | |
|----------------------------------|--------|---------|---------|---------|-------|----------------------|-------------------------|
| Composición corporal (kg) | | | | | | | |
| | | | | | | | P21¹ |
| AgC21 | 0.3236 | 80.114 | 75.042 | 93.200 | 7.731 | 0.2688 | 0.0001 |
| PrC21 | 0.2461 | 24.122 | 22.615 | 27.824 | 2.238 | 0.2765 | 0.0001 |
| GrC21 | 0.1067 | 38.116 | 35.828 | 39.996 | 3.257 | 0.6722 | 0.0001 |
| | | | | | | | P57² |
| AgC57 | 0.3805 | 88.413 | 82.390 | 102.221 | 6.689 | 0.1417 | 0.0001 |
| PrC57 | 0.3507 | 26.693 | 24.769 | 30.632 | 1.963 | 0.1409 | 0.0001 |
| GrC57 | 0.4120 | 44.200 | 38.523 | 46.899 | 3.429 | 0.2511 | 0.0001 |
| | | | | | | | P107³ |
| AgC107 | 0.5917 | 107.246 | 105.426 | 117.294 | 6.633 | 0.4218 | 0.0001 |
| PrC107 | 0.4900 | 32.188 | 31.611 | 35.146 | 1.879 | 0.3905 | 0.0001 |
| GrC107 | 0.1714 | 50.558 | 48.944 | 54.517 | 3.072 | 0.4433 | 0.0001 |
| GAgC | 0.8876 | 27.131 | 30.384 | 24.094 | 2.856 | 0.3314 | |
| GPrC | 0.9746 | 8.065 | 8.995 | 7.321 | 0.778 | 0.3455 | |
| GGrC | 0.3375 | 12.442 | 13.115 | 14.520 | 1.958 | 0.7511 | |

T1 = Sorgo-soya

T2 = T1 + sorgo-plátano (5%) + embutido (15%)

T3 = T1 + sorgo-plátano (10%) + embutido (30%)

ee = Error estandar

† Prueba para homogeneidad de la varianza

Tx= Tratamiento; COV.= Covariable

^{1,2,3} COV. Peso a los 21, 57 y 107 días de gestación

En las variables relacionadas con el comportamiento productivo de las cerdas al momento del parto no hubo diferencia ($P>0.05$) por efecto del tratamiento, sin embargo, la covariable LNV, si tuvo efecto ($P<0.01$) sobre la variable PCNac (Cuadro 11).

Los LNT y LNV fueron mayores en T1 (12.00 y 11.4), que en T2 (11.6 y 10.60) y T3 (10.8 y 9.80); esta misma tendencia tuvieron las variables PCNac y PPNac, siendo 18.50 y 1.65 para T1, 16.98 y 1.62 para T2 y 15.63 y 1.60 para T3, respectivamente.

Cuadro 11. Efecto de la inclusión de ensilados de plátano-sorgo (EPS) y embutidos ave (EEA) en la dieta de cerdas gestantes, sobre el comportamiento de la camada al nacimiento.

| Variables | † | T1 | T2 | T3 | ee | EFEECTO POR Tx | COV |
|----------------------|---------|-------|-------|-------|-------|----------------|------------------------|
| Al nacimiento | | | | | | | |
| | | | | | | | LNV¹ |
| LNT | 0.3893 | 12.00 | 11.60 | 10.80 | 1.702 | 0.8804 | ----- |
| LNV | 0.4840 | 11.40 | 10.60 | 9.80 | 1.444 | 0.7415 | |
| PCNac (kg) | 0.6867 | 18.50 | 16.98 | 15.63 | 2.170 | 0.6565 | 0.0002 |
| PPNac (kg) | 0.0316* | 1.65 | 1.62 | 1.60 | 0.106 | 0.9501 | >0.05 |

T1 = Sorgo-soya

T2 = T1 + sorgo-plátano (5%) + embutido (15%)

T3 = T1 + sorgo-plátano (10%) + embutido (30%)

ee = Error estandar

† Prueba para homogeneidad de la varianza

Tx= Tratamiento; COV= Covariable.

¹ COV. Lechones Nacidos Vivos

* Prueba de contrastes T1 vs T2 vs T3 ($P>0.05$)

8. DISCUSIÓN

8.1 Prueba de digestibilidad

Para el diseño de la prueba de digestibilidad, los consumos fueron establecidos con base en los aportes calculados de las dietas, procurando que cada cerda consumiera una misma cantidad de energía metabolizable por día, de acuerdo a sus necesidades nutricionales (Renteria, 2007), (Anexo 3). Los consumos de MS en el presente trabajo, coinciden con los reportados por otros estudios (Le Goff and Noblet, 2001; Le Goff *et al.*, 2002b; Serena *et al.*, 2008;), en los que se indican consumos que van de los 1820 a los 2221 g/día.

En cuanto a las pérdidas fecales, los valores de MSF, MOF, PROTf y EBF fueron significativamente menores ($P < 0.001$) para T1 en comparación a T2 y T3, lo que demuestra una mayor retención de nutrimentos a nivel intestinal, a favor de esta dieta y por lo tanto mayores coeficientes de digestibilidad. Los coeficiente de DMS y DMO para T1, correspondieron a 89.73 y 91.74%; datos que coinciden con las digestibilidades reportadas por otros autores, tanto para cerdas adultas como en cerdos de engorda, y cuyos rangos van de 83.4 a 92.0% para la DMS, y de 84.0 a 94.0% para la DMO (Noblet y Shi, 1993a; Le Goff y Noblet, 2001; Le Goff *et al.*, 2002a; Hoang Huong *et al.*, 2004; Takahashi y Horiguchi, 2005; Amaefule *et al.*, 2006; Serena *et al.*, 2008). Por otra parte, los coeficientes de DPC y DEB de la misma dieta fueron de 85.97 y 86.04%, valores que se encuentran dentro de los rangos de digestibilidad para cerdas adultas y cerdos de engorda, registrados en otros estudios, siendo de 81.9 a 89.2% para la proteína (Noblet y Shi, 1993a; Le Goff y Noblet, 2001; Takahashi y Horiguchi, 2005; Amaefule *et al.*, 2006; Serena *et al.*, 2008), y de 84.7 a 86.2% para la energía (Noblet y Shi, 1993a; Le Goff y Noblet, 2001; Amaefule *et al.*, 2006); sin embargo, se encontraron por debajo de lo observado en otros trabajos, en los que se reportan coeficientes mayores a 87.9% para la DPC y por arriba de 89.6% para la DEB (Le Goff *et al.* 2002a; Le Goff *et al.* 2002b; Hoang Huong *et al.*, 2004).

Los coeficientes de DMS, DMO, DPC y DEB, fueron significativamente mayores en T1 ($P < 0.001$), que en T2 y T3. La DMS fue menor en T2 un 6.49% y en T3 un 6.14%, en comparación a

T1; esta diferencia se presentó de manera similar para la DMO (5.13 y 4.96%); DPC (8.68 y 7.30%); y DEB (9.77 y 9.67%), respectivamente.

En concordancia con este trabajo, diferentes estudios demuestran que al comparar dietas convencionales con dietas que incluyen ingredientes alternativos o no convencionales, resultan ser menos digestibles la materia seca, la materia orgánica, la proteína y la energía, de las dietas alternativas (Le Goff *et al.* 2002a; Le Goff *et al.* 2002b; Huang Huong *et al.* 2004; Amaefule *et al.*, 2006), siendo en la mayoría de los casos el aporte elevado de fibra cruda de los ingredientes alternativos y la composición química de la dieta, causas importantes de éstos efectos (Le Goff y Noblet, 2001).

Lo anterior está plenamente comprobado, particularmente en cuanto a la digestión de la energía se refiere, presentándose una menor digestibilidad, en la medida en que aumenta la fibra cruda. En un estudio realizado por Lekule *et al.*, (1990), en donde se analizaron químicamente 70 diferentes ingredientes y cuya digestibilidad se determinó a través de métodos de regresión, se determinó una disminución de 2.2% en la digestibilidad de la energía, por cada 1% de aumento en la Fibra Cruda. Sin embargo, en el presente estudio las principales diferencias en el aporte de fibra cruda se presentaron entre T1 y T2, mismas que no rebasaron el 0.39%; mientras que las diferencias para la digestibilidad de la energía entre los mismos tratamientos, superaron el 8.4%, esto habría implicado una notable diferencia en el aporte de Fibra Cruda, equivalente al 3.8%.

En la mayoría de los trabajos en los que se ha evaluado la capacidad que tienen las cerdas para degradar la fibra, se han empleado dietas experimentales que oscilan entre 7.3 y 11.0 % de Fibra Cruda (Le Goff y Noblet, 2001; Hoang Huong *et al.*, 2004; Serena *et al.* 2008). Sin embargo, los niveles de fibra cruda en los tratamientos del presente estudio, estuvieron por debajo de dicho rango: T1= 4.28, T2= 4.67 y T3= 3.41% (base seca), siendo semejantes a los observados en investigaciones encaminadas a determinar la digestibilidad de distintos ingredientes fibrosos como el salvado de maíz, el salvado de trigo y la pulpa de remolacha (Le Goff *et al.*, 2002a; Le Goff *et al.*, 2002b); o bien, de ingredientes alternativos a la pasta de soya como el *Lathyrus sativus L.* (Trombetta *et al.*, 2006), cuya inclusión en las dietas arroja niveles que van de 4.6 a 5.1% de Fibra

Cruda. En dichos trabajos se concluye que la digestibilidad de la energía depende más del origen botánico de la fibra que del aporte de ésta en la dieta, (Le Goff et al., 2002a; Le Goff et al., 2002b).

Con base en todo lo anterior, las diferencias observadas en la digestibilidad de la energía, no pueden ser atribuidas al contenido de Fibra Cruda de las dietas. Le Goof y Noblet (2001), señalan que la digestibilidad total de la energía en los cerdos se ve afectada por las características del alimento, en cuanto a su composición química y tratamiento o procesado, por factores propios del animal, por el sistema de alimentación y finalmente por el método de medición. Todos estos factores fueron considerados en el presente estudio; sin embargo, tratando de explicar los resultados observados, surge un factor adicional que puede estar involucrado en los efectos de una menor digestibilidad de los nutrimentos, y que corresponde a la diferencia catiónica-aniónica (DCA) de la dieta, mismo que no fue considerado dentro de los objetivos de estudio, de ahí que *a posteriori* se haya tomado la decisión de evaluar el contenido de Cloruro de Sodio en las dietas al considerársele un elemento posiblemente asociado a la digestibilidad.

En el presente estudio, las dietas de T2 y T3 presentaron mayores concentraciones de cloruro de sodio, debido a la inclusión de éste compuesto en los embutidos de ave (Anexo 3) y es probable que también hayan contenido más potasio, al ser el plátano y la melaza fuentes ricas en este elemento: 5.65 y 5.48% en MS, respectivamente (USDA, 2010; NRC, 1998).

De manera práctica, la DCA dietaría, incluye a dos cationes (Potasio y Sodio) y dos aniones (Cloro y Azufre). La operación para aplicar la DCA es igual en mEq a: $[(\%K/0.039) + (\%Na/0.023)] - [(\%Cl/0.0355) + (\%S/0.016)]/100g$ de MS (NRC, 2001).

Se ha demostrado que una DCA negativa puede provocar disminución en el consumo voluntario, mientras que una positiva mejora el crecimiento de los cerdos; sin embargo, aún no se ha logrado establecer la DCA dietaría para un comportamiento óptimo, debido a la variabilidad de los resultados observados en las diferentes investigaciones (Patience *et al.*, 1987; Dersjant-Li *et al.*, 2001). Estudios realizados por Patience *et al.* (1987), sugieren que el mayor desarrollo y consumo de alimento en cerdos de crecimiento, se logra con un balance entre 0 y 341mEq/kg, pero éstos disminuyen cuando el balance es negativo, debido a los niveles de Cl^- en la dieta. Investigaciones

más recientes, indican que con niveles de -100mEq/kg (dieta aniónica), se logra una mayor digestibilidad aparente de la materia seca, en comparación a una DCA de 200mEq/kg (dieta catiónica) (Dersjant-Li *et al.*, 2001). Al estimar los aportes de Sodio, Potasio, Cloro y Azufre de las dietas en estudio, se obtuvieron los siguientes valores: $T1 = 43.55$, $T2 = 53.78$ y $T3 = 76.57 \text{ mEq/100 gr de MS}$; dichas estimaciones muestran que conforme aumenta la inclusión de ensilados, la DCA se inclina hacia el lado cationico, por lo que podría verse disminuida su digestibilidad.

Por otra parte, las dietas de T2 y T3 presentaron un mayor contenido de cenizas en comparación a T1 ($T1 = 5.09$, $T2 = 5.84$ y $T3 = 6.60 \%$), factor que puede estar asociado a una menor digestibilidad de la proteína cruda. Al respecto Noblet y Perez, (1993), indican un importante efecto negativo de las cenizas, al aumentar la pérdida de nitrógeno fecal, equivalente a $0.4 \text{ g de PC/g de cenizas}$. No existe una clara explicación de dicho efecto; sin embargo, los autores sugieren que los minerales de la dieta aumentan la excreción de proteína endógena, a partir de la descamación de células intestinales.

A su vez, un mayor contenido de minerales en la dieta, puede contribuir a la reducción de la digestibilidad de la energía, a través de la formación de jabones (Noblet y Perez, 1993), lo que suele suceder con mayor facilidad en la presencia de grasas saturadas. Tullis y Whitmore (1980), concluyen que el ácido esteárico (C18:0) de la grasa de cerdo, es responsable de la pobre digestibilidad de esta grasa; otros autores señalan que dietas con alto contenido de PC mejoran la digestibilidad de los ácidos grasos a nivel ileal, excepto la del ácido esteárico, y que la interacción entre la proteína y el aporte de grasa de la dieta, sobre el aumento de ácido esteárico en las heces, demuestra que la composición de la dieta tiene un efecto complejo sobre la actividad microbiana del intestino grueso (Jørgensen *et al.*, 1992).

Las dietas de T2 y T3 incluyeron embutidos de ave, productos que son elaborados con al menos 30% de grasa de cerdo, grasa rica en ácido esteárico (15 %); mientras que la dieta de T1, estuvo compuesta con grasa de origen vegetal (aceite de soya). Con base en todo lo anterior se puede explicar la menor digestibilidad de las dietas de T2 y T3, en comparación a la dieta de T1.

8.2 Prueba de comportamiento

En el presente estudio, el consumo de alimento se estableció para cubrir las necesidades de energía metabolizable con base en el peso inicial (P21) de las cerdas, la ganancia materna por número de parto y el historial reproductivo (Rentería et al., 2007), debido a ello los resultados del CMS57d dependieron de esta covariable; sin embargo, para los valores de CMS107d, CPMS y CTMS, se debieron a los distintos aportes de energía metabolizable de las dietas (Anexo 3) ya que el aporte de estas fue diferente. Al respecto, los consumos de MS observados en el presente trabajo, superaron a los reportados por otros autores (Le Goff y Noblet, 2001; Le Goff *et al.*, 2002a; Serena *et al.*, 2008), quienes señalan consumos de materia seca que van de los 1820 a los 2221 g/día; sin embargo, en éstos trabajos se emplearon dietas con aportes mayores a 3.2 Mcal EM/kg de MS.

Para las variables relacionadas con el consumo de energía, nuevamente la covariable P21 fue determinante, ya que con base en ésta se definieron los consumos diarios de energía, siendo las cerdas de mayor peso, las que consumieron mayor cantidad al inicio de la prueba: T3= 6.666 Mcal EM/día; en comparación a las más ligeras: T1= 6.269 y T2= 6.152 Mcal EM/día ($P>0.05$). Sin embargo, debido a la pobre condición corporal (<3) y bajo nivel de grasa dorsal (15.4mm) que presentaron las cerdas de T2 en la segunda medición, se optó por aumentar el consumo de energía 15% por arriba de sus requerimientos, con la finalidad de lograr un nivel adecuado de grasa dorsal (>17 mm) al momento del parto (Young *et al.*, 2004); esta decisión obedeció a la necesidad de evitar comprometer el comportamiento reproductivo subsecuente de las cerdas. De ahí que el CEM107d fuera mayor en T2 que en T1. Sin embargo, el CPEM, coincide con lo reportado por Le Goff y Noblet (2001).

Los CPPC observados en el presente trabajo, coinciden con los reportados por otros autores (Noblet y Shi, 1993a; Le Goff y Noblet, 2001; Le Goff *et al.*, 2002a) cuyos valores van de los 167.25 a los 341.25g/día. Los valores observados entre los tratamientos de este estudio para CPC107d, CPPC y CTPC, dependieron del mayor aporte de PC y menor contenido de energía en las

dietas que incluyeron ensilados (T2 y T3), ya que el consumo de alimento se preestableció para cubrir las necesidades de EM/día.

Las variables correspondientes a peso y grasa dorsal, no presentaron diferencias importantes entre tratamientos ($P > 0.05$); sin embargo si dependieron de las covariables peso y grasa al inicio de la gestación (P21 y GD21) ($P < 0.05$), las que estuvieron relacionadas con el número de parto, presentando las cerdas de T1 y T2 un promedio de 3.2 partos, en comparación a T3 que registró 4.2 partos promedio (Anexo 6). La relación entre número de parto, peso corporal y grasa dorsal, ha sido ampliamente demostrada por diversos autores (O'Dowd *et al.*, 1997; Cooper *et al.*, 2001; Sinclair *et al.*, 2001; Young *et al.*, 2004; Young *et al.*, 2005).

Los valores de P21 en las cerdas del presente estudio, fueron menores a los reportados en otros estudios, en los que se indican rangos que van de los 206.7 a los 216.4 kg de peso corporal (Young *et al.*, 2004; Young *et al.*, 2005), para cerdas de tres partos, aunque coinciden plenamente con los pesos observados en un estudio realizado con 416 cerdas por Cooper *et al.*, (2001), para cerdas de tercero y cuarto parto (193 y 208 kg respectivamente). Con relación a GD21, también se registraron valores por debajo a lo reportado en otras investigaciones, en donde las cerdas al momento del servicio presentaron valores de 16.1 – 16.4 mm (Young *et al.*, 2004; Young *et al.*, 2005), pero mayores a lo observado por Cooper *et al.* (2001) quien reporta 14.7 mm de GD. Con base en lo anterior, se aprecia claramente que las cerdas de T2 presentaban bajos pesos al inicio de la gestación, incluso comparándolas con cerdas de tercer parto.

Durante el estudio, las cerdas con menor peso inicial siempre se mantuvieron en dicha condición, mientras que las más pesadas, registraron los mayores pesos a lo largo de la gestación; un comportamiento similar se observó para la grasa dorsal. Sin embargo, la diferencia de peso durante la gestación (P107-P21), aunque no significativa ($P > 0.05$) fue superior en T2, con un 9.21 y 12.28% respecto a T1 y T3; y mayor en T1 con un 3.38%, en comparación a T3. Cabe señalar que las ganancias de peso durante la gestación en el presente estudio, fueron mayores a lo observado en otros trabajos (Cooper *et al.*, 2001; Theil *et al.*, 2002; Young *et al.*, 2004; Young *et al.*, 2005); sin embargo, Dourmad *et al.* (1996), reportan ganancias de peso hasta de 64.5kg, con consumos de 8.48 Mcal EM/día, inclusive en cerdas de quinto parto.

La ganancia de grasa dorsal durante la gestación (GD107-GD21) fue mayor en T3, que en T1 y T2, en un 25.67 y 24.77% respectivamente. Las variación de grasa dorsal para T1 y T2 fueron mayores a las reportadas por otros autores (Cooper *et al.*, 2001; Young *et al.*, 2004; Young *et al.*, 2005); mientras que las de T3 coincidieron con los valores observado por Dourmad *et al.* (1996), en cerdas de quinto parto, con consumos promedio de 8.48 Mcal EM/día.

Las mayores ganancias de peso y grasa dorsal, observadas en las cerdas de T2 y T3 respectivamente, pueden asociarse con su número de parto y condición corporal previa a la gestación de dichas cerdas. Estudios realizados por Young *et al.* (2005), establecen que al proporcionar niveles similares de energía a cerdas jóvenes y adultas, por arriba de las necesidades de mantenimiento, las jóvenes ganan más peso que las adultas, estando la ganancia más representada por la proteína que por la grasa, por lo que las cerdas jóvenes son más eficientes. Por otra parte, las cerdas jóvenes requieren mayores ganancias de peso materno que las cerdas adultas, para lograr ganancias similares de grasa dorsal, precisamente debido a esta mayor concentración de proteína y menor ganancia de grasa, observadas en los kilogramos ganados durante la gestación. Con relación a la condición corporal previa a la gestación, Dourmad *et al.* (1996), establecen que la composición corporal al momento del servicio en cerdas multíparas, no tiene efecto sobre los cambios de la composición corporal o en la ganancia de peso durante la siguiente gestación; sin embargo, plantea que la retención de nitrógeno es más rápida en aquellas cerdas que han movilizado mayores niveles de sus reservas corporales en la lactancia previa. Este anabolismo gestacional observado en cerdas multíparas, está relacionado con la pérdida de proteína corporal durante la lactancia previa, que reduce la cantidad de agua corporal, por lo que la eficiencia de la ganancia materna se debe a la recuperación de proteína y agua, durante la gestación temprana (Noblet *et al.*, 1990); además, está demostrado que ésta retención de nitrógeno aumenta en forma consistente, después del día 56 de gestación (Everts y Dekker, 1995), lo anterior se pudo observar en el presente estudio, al registrarse una mayor ganancia de peso durante la segunda etapa de la gestación, lo que concuerda con otros trabajos (García Rendón, 2009).

En el presente trabajo la composición corporal de las cerdas al inicio de la gestación, mostró valores para la proteína por debajo de lo observado en otras investigaciones, en los que reportan rangos que van de 28.6 a 40 kg de masa proteica; mientras que los valores de grasa

corporal, se encuentran dentro del rango reportado en los mismos trabajos: 28 a 53.5kg, para cerdas de tercero a cuarto parto (Whittmore y Yang, 1989; Everts y Dekker, 1995; Young *et al.*, 2005). Por otra parte, si bien no se observaron diferencias en la composición corporal por efecto de los tratamientos ($P>0.05$), el peso corporal influyó notablemente sobre la composición corporal de las cerdas ($P<0.001$), ya que, tanto el peso como la grasa dorsal son variables empleadas para la determinación de la composición corporal de las mismas (Everts y Dekker, 1995); de ahí que las cerdas con mayor peso, tiendan a ser las que presentan mayores contenidos de grasa y masa proteica. En el presente trabajo los valores de agua corporal al inicio de la prueba (AgC21) en los tres tratamientos, también se encontraron por debajo de los reportados por otros autores, en donde las cerdas de tercer parto presentaron 101.2 kg de agua corporal (Everts y Dekker, 1995), comparados con 80.1; 75.0; y 93.2Kg; para T1, T2 y T3 respectivamente.

Young *et al.*, (2005) reportan para cerdas con un rango de peso al inicio de la gestación de 180 a 215 kg y con 1.7 partos promedio, un contenido de masa proteica y grasa, de 32.4 y 37.7 kg, respectivamente; lo que demuestra, que el contenido de masa proteica de las cerdas del presente trabajo fue inicialmente bajo, al tratarse de cerdas con 3.5 partos promedio, particularmente en las cerdas de T2 que presentaron 22.61kg, esto es 6.24 y 18.72% menos proteína corporal, que T1 y T3, respectivamente.

Pese a que no se encontraron diferencias ($P<0.05$) durante la gestación, en cuanto a la composición corporal por efecto de los tratamientos, en las cerdas de T2 se observó que GAgC y GPrC fueron mayores en un 10.70 y 10.33% en comparación con T1 y en un 20.70 y 18.61% en comparación a T3. La mayor ganancia de las cerdas de T2 en comparación a T1 y T3, puede deberse a que aquellas presentaban un mayor desgaste corporal generado en su lactación previa. Dourmad *et al* (1996), observaron que el estado de la composición corporal al momento del servicio, no influye sobre los cambios de composición corporal a lo largo de la gestación; sin embargo, señalan que la retención de nitrógeno es más rápida en aquellas cerdas que han movilizadas mayores reservas corporales en la lactancia previa, esto sugiere que la restauración de las reservas proteicas de las cerdas de T2 ocurrió primero y de manera más eficiente, que en las cerdas de los otros tratamientos, al reducirse las diferencias de la masa proteica a 1.69% con T1 y 10.11% con T3; esta diferencia manifestada particularmente a partir del día 57 de la gestación,

coinciden plenamente con lo señalado por Everts y Dekker (1995), quienes sugiere dichos cambios a partir del día 56 de la misma.

La movilización de la proteína corporal durante la lactancia va acompañada de la pérdida de agua, por lo que la ganancia materna durante la gestación, corresponde a una mayor ganancia de proteína y agua (Noblet *et al.*, 1990), particularmente cuando se trata de cerdas jóvenes con capacidad para seguir creciendo (Young *et al.*, 2005). Dicho efecto se pudo observar en los resultados de éste trabajo, al ser precisamente las cerdas de T2, las que presentaron valores mayores para GAgC y GPrC; sin embargo, para que se diera ese efecto, las cerdas de dicho tratamiento debieron haber consumido suficiente energía que les permitieran la adecuada deposición de proteína. En el presente estudio, los aportes de EM en T2 correspondieron a 1.26 veces más, a los señalados por NRC (1998), lo que coincide con lo establecido por Dourmad *et al* (1996), quienes sugiere 1.3 veces. Los efectos de edad y peso también se pueden apreciar al comparar la GPrC de T1 y T3, siendo más eficientes las cerdas de T1 al requerir menos energía para la deposición de proteína.

Las cerdas de T3 presentaron valores superiores de grasa corporal, en los distintos momentos de la gestación (21, 57 y 107d), en comparación a T1 y T2 ($P>0.05$). La razón principal de estos resultados, se explica por la diferente composición corporal entre cerdas jóvenes y adultas; ya que como lo menciona Young *et al.*, (2005), la ganancia de masa proteica disminuye de 15.6 a 8.2%, mientras que la ganancia de grasa corporal aumenta de 30 a 56.2%, conforme las cerdas aumentan en número de parto. De hecho, los modelos predictivos de NRC (1998) para los requerimientos nutricionales, subestiman la ganancia materna en cerdas jóvenes y ligeras, debido a que la ganancia de éstas corresponde más a la proteína que a la grasa; mientras que sobreestiman la ganancia materna en hembras mayores y pesadas, lo que se explica por el uso menos eficiente de la energía, al dirigir la ganancia hacia la deposición de grasa (Cooper *et al.*, 2001; Young *et al.*, 2005).

En el comportamiento productivo de las cerdas no se aprecian diferencias significativas entre los tratamientos ($P>0.05$); sin embargo, se observó una diferencia de 0.8 LNV entre T1 y T2 y de 1.6 LNV entre T1 y T3, lo que equivale a un 7.5 y 16.3 % a favor de T1.

A pesar de que el comportamiento de las cerdas en cuanto a LNT se encuentra en el rango de lo reportado por otros autores (O'Dowd *et al.*, 1997) en cerdas de tercer parto, el cual va de 10.9 a 11.8 LNT, esta variable no depende directamente de los tratamientos utilizados en la prueba. Sin embargo, para la variable LNV de los tratamientos donde se utilizaron ensilados hubo - 1 cerdo promedio, lo que pudo ser ocasionado por la DCA de las dietas de T2 y T3, al influir en la sobrevivencia de los lechones, Roux *et al.*, (2008) reportan que un incremento en la DCA reduce el porcentaje de sobrevivencia de los lechones y el número de destetados. Al respecto, en otro trabajo se señala que cerdas que recibieron dietas con menor diferencia catiónica-aniónica tendieron a incrementar el número total de cerdos nacidos y de cerdos nacidos vivos (Roux, 2005).

En lo referente al PCNac, en las cerdas de T1 se registro un 8.21 y 15.51% superior en comparación al peso de las camadas de T2 y T3 respectivamente; sin embargo, esto se debe al efecto de la covariable LNV ya que, al observar el PPNac no hay diferencias entre tratamientos ($P > 0.05$), con lo que se demuestra que el peso al nacimiento no se afectó por la alimentación durante la gestación, lo que concuerda con lo reportado por Sinclair *et al.*, (2001) donde señala que un mayor consumo en la gestación tiene efecto sobre la ganancia de peso de la hembra y poco efecto sobre el peso del lechón al nacimiento.

9. CONCLUSIÓN

El uso de la técnica de ensilaje, es un procedimiento sencillo y se considera apto para la conservación de los ingredientes alternativos utilizados en esta prueba (embutidos y plátano), permitiendo el uso de los mismos en un tiempo mayor al que comúnmente tienen como productos para el consumo humano, contribuyendo de esta manera a disminuir la posibilidad de convertirse en una fuente de contaminación ambiental, generada por la descomposición (plátano) o bien por el uso de combustibles para convertir a los embutidos en harina de carne.

La digestibilidad de los nutrimentos y de la energía de dietas formuladas a base de sorgo-soya que incluyan ensilados de sorgo-plátano y embutidos de ave como ingredientes alternativos, en la alimentación de cerdas gestantes, difieren con la de una dieta convencional a base de sorgo-soya; sin embargo, esta diferencia en la digestibilidad no tiene impacto sobre el comportamiento productivo durante la gestación y al momento del parto.

Con base en lo anterior, se puede concluir que el uso de ensilados a base de plátano-sorgo y embutidos de ave en la alimentación de cerdas gestantes, es adecuado en explotaciones consideradas de tipo familiar o a pequeña escala.

10. ANEXOS

RESULTADOS DE AQP

Anexo 1. Resultados del análisis químico proximal del ensilado de plátano (60%) y sorgo (40%) (EPS) referidos en base húmeda, base 90 y base 100

| | B.H. | BASE 90 | BASE 100 |
|---------------------------------|-------------|----------------|-----------------|
| Materia seca (%) | 48.7 | 90.00 | 100.00 |
| Humedad (%) | 51.30 | 10.00 | 0.00 |
| Proteína cruda (%) | 4.16 | 7.68 | 8.53 |
| Extracto etéreo (%) | 1.40 | 2.58 | 2.87 |
| Cenizas (%) | 1.13 | 2.10 | 2.33 |
| Fibra cruda (%) | 0.55 | 1.02 | 1.14 |
| Extracto libre de nitrógeno (%) | 41.46 | 76.62 | 85.13 |
| T.N.D. (%) | 43.54 | 80.46 | 89.40 |
| E.D Kcal/kg (aprox) | 1919.69 | 3547.34 | 3941.48 |
| E.M. kcal/kg (aprox) | 1573.98 | 2908.51 | 3231.68 |
| Calcio (%) | 0.20 | | |
| Fosforo (%) | 0.20 | | |

Anexo 2. Resultados del análisis químico proximal del ensilado de embutidos de ave (EEA) referidos en base húmeda, base 90 y base 100

| | B.H. | BASE 90 | BASE 100 |
|---------------------------------|-------------|----------------|-----------------|
| Materia seca (%) | 31.27 | 90 | 100 |
| Humedad (%) | 68.73 | 10 | 0.00 |
| Proteína cruda (%) | 11.34 | 32.64 | 36.27 |
| Extracto etéreo (%) | 8.95 | 25.77 | 28.63 |
| Cenizas (%) | 2.42 | 6.96 | 7.73 |
| Fibra cruda (%) | 0.03 | 0.09 | 0.10 |
| Extracto libre de nitrógeno (%) | 8.53 | 24.54 | 27.27 |
| T.N.D.(%) | 34.33 | 98.80 | 109.77 |
| E.D kcal/kg (aprox) | 1513.56 | 4355.96 | 4839.95 |
| E.M. kcal/kg (aprox) | 1240.99 | 3571.51 | 3968.35 |
| Calcio (%) | 0.2 | | |
| Fosforo (%) | 0.60 | | |

Anexo 3. Ingredientes (en base húmeda) y aporte nutricional (en base seca), de las dietas correspondientes a los tratamientos 1, 2 y 3.

| INGREDIENTE (kg) | T1 | T2 | T3 |
|---|-------|-------|-------|
| Ingredientes (kg) | | | |
| Sorgo | 701 | 587 | 450 |
| Soya | 145 | 86 | 39 |
| Salvado | 95 | 90.5 | 82 |
| Aceite de soya | 20 | 3 | 0 |
| Carbonato de calcio | 17 | 13.5 | 14 |
| Ortofosfato dicálcico | 16 | 14 | 9 |
| Sal | 3 | 3 | 3 |
| Vitaminas | 2 | 2 | 2 |
| Minerales | 1 | 1 | 1 |
| Ensilado de embutidos de ave | 0 | 150 | 300 |
| Ensilado de sorgo-plátano | 0 | 50 | 100 |
| Aportes nutricionales calculados | | | |
| Mcal EM/Kg* | 3.52 | 3.52 | 3.53 |
| PC (%)* | 15.38 | 15.41 | 15.44 |
| Aportes nutricionales reales | | | |
| Mcal EM/kg* | 3.16 | 2.84 | 2.87 |
| PC (%)* | 12.60 | 12.76 | 13.08 |
| Cenizas (%)* | 5.09 | 5.84 | 6.60 |
| FC (%)* | 4.28 | 4.67 | 3.41 |
| NaCl (%)* | 0.43 | 1.11 | 1.83 |
| H (%) | 9.29 | 21.48 | 32.37 |
| MS (%) | 90.71 | 78.52 | 67.63 |

*Aportes en base 100

Mcal EM/Kg: Megacalorías de energía metabolizable/ kg

PC: Proteína cruda

FC: Fibra Cruda

H: Humedad

MS: Materia Seca

Anexo 4.

TECNICA PARA LA DETERMINACIÓN DE NaCl

Este procedimiento es una modificación de la técnica 985.01 de la AOAC (1990)

Procedimiento

- Homogenizar la muestra
- Deshidratar la muestra en una estufa de aire forzado a un rango de temperatura de 70 a 85 °C
- Moler la muestra con una criba de 1mm
- Pesar 2 gr de muestra
- En un matraz de 100 ml se coloca un embudo de plástico y un filtro watman No. 1
- Lavar la muestra con agua desionizada a punto de ebullición (aproximadamente 10 lavadas sin pasar los 100 ml del aforo)
- Dejar enfriar
- Aforar a 100 ml con agua desionizada
- Leer en un espectrofotometro de absorción atómica (el utilizado en esta ocasión es de la marca Perkin Elmer 3110 con una lámparas de Na Perkin Elmer.
- Leer a una longitud de onda de 589.0 nm, utilizando un estándar de Na, a una concentración de 30 ppm

Considerando que la sal pura posee cerca de 60.66% de peso de cloro y un 39.64% de sodio, lo que da un 100% de NaCl, se siguen los siguientes procedimientos para obtener el contenido en porcentaje de NaCl en un alimento.

1. Obtener la lectura del estándar
2. Obtener la lectura de las muestras que se trabajaron
3. Obtener la cantidad de Na contenida en las muestras por medio de una ecuación de primer grado (regla de tres simple directa)

$$X = \frac{(\text{Concentración de Na en el estándar})(\text{Lectura de la muestra})}{\text{Lectura del estándar}}$$

Lectura del estándar

4. (Cantidad de Na en la muestra)(ml de aforo) = Cantidad de Na en el aforo
5. Cantidad de Na en el aforo = Na/g
g de muestra
6. Se obtiene la cantidad de Cl/g contenido en la muestra que se trabajo aplicando otra ecuación: $Cl/g = \frac{(Na/g)(60.66)}{39.34}$
7. Na/g + Cl/g = Contenido de NaCl
8. Contenido de NaCl = % de NaCl en el alimento
10000

Anexo 5. Distribución del horario de muestreo a lo largo de 3 días, durante la prueba de digestibilidad

| DIA | HORA DEL DIA |
|----------------|--------------|
| 1 | 7:30 |
| 2 | 8:30 |
| 3 | 9:30 |
| 1 | 10:30 |
| 2 | 11:30 |
| 3 | 12:30 |
| 1 | 13:30 |
| 2 | 14:30 |
| 3 | 15:30 |
| 1 | 16:30 |
| 2 | 17:30 |
| 3 | 18:30 |
| Todos los días | 17:30 |

Anexo 6. Número de parto de las cerdas en los tres tratamientos, en la prueba de comportamiento

| Animal | T1 | T2 | T3 |
|----------|-----|-----|-----|
| 1 | 3 | 1 | 5 |
| 2 | 5 | 5 | 4 |
| 3 | 3 | 4 | 3 |
| 4 | 1 | 3 | 4 |
| 5 | 4 | 3 | 5 |
| Promedio | 3.2 | 3.2 | 4.2 |

11. LITERATURA CITADA

- Agencia Xinhua. 2008. Consultado en Enero de 2009. Disponible en: http://www.spanish.xinhuanet.com/spanish/2008-03/07/content_592159.htm
- Agudelo JH, Lindemann MD, Cromwell GL. A comparison of two methods to assess nutrient digestibility in pigs. *Livestock Science*. 2010; 133: 74–77.
- Aguilera A, Pérez-Gil F, Grande D, de la Cruz I, Juárez J. Digestibility and fermentative characteristics of mango, lemon and corn stovers silages with or without addition of molasses and urea. *Small Ruminant Research*. 1997; 26: 87-91.
- Amaefule KU, Abasiokong SF, Ibe SN, Onwudike OC. Digestibility and Nutrient Utilization of Some Agro-Industrial By-Products Fed to Growing Pigs in the Humid Tropics. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2009; 8 (4): 355-360.
- Amaefule KU, Okechukwu SO, Ukachukwu SN, Okoye FC, Onwudike OC. Digestibility and nutrient utilization of pigs fed graded levels of brewers' dried grain based diets. *Livestock Research for Rural Development*. 2006; 18 (1).
- Argenti P, Espinoza F. Alimentación alternativa para cerdos. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP), Instituto de Investigaciones Zootecnicas. Maracay Venezuela. Enero-Marzo 1999. No.61 Consultado el Enero 2009. disponible en: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/FonaiapDivulga/fd61/alimen.html
- AOAC. 1990. Official methods of analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemist. Arlington, VA.
- Babatunde GM. Availability of banana and plantain products for animal feeding. 1979. Consultado el 22 Noviembre de 2010 [on line] <http://www.fao.org/docrep/003/t0554e/T0554E17.htm>
- Bakker GCM, Jongbloed AW. The effect of housing system on apparent digestibility in pigs, using the classical and marker (chromic oxide, acid-insoluble ash) techniques, in relation to dietary composition. *J. Sci. Food Agric*. 1994; 64: 107-115.
- Battini F, Ligabue M, Marmo N, Vecchia P. Pisello proteico nell'alimentazione delle bovine da latte. *Inform. Agr*. 2003; 59(1):27-30.
- Bobadilla SEE, Espinoza OA, Martínez CFE. Dinámica de la producción porcina en México de 1980 a 2008. *Rev. Méx. Cienc. Pecu*. 2010;1(3):251-268.

- Boschini C, Rodriguez AM. Rendimiento del ramio (*Bohemeria nivea* (L) Gaud) cultivado para forraje. Agronomía mesoamericana. 2002; 13 (1): 1-36.
- Botanical, 1999. Consultado el 22 Noviembre de 2010
<http://www.botanical-online.com/platanos.htm>)
- Brooks P, Fermented liquid feed for pigs, del 13 de Junio de 2009. Disponible en: <http://www.pig333.com/nutrition/pig-arride/378/fermented-liquid-feed-for-pigs>
- Brouns F, Edwards SA, English PR. Influences of fibrous feed ingredients on voluntary intake of dry sows. Animal Feed Science and Technology. 1995; 54:301-313.
- Cañeque MV, Sancha SJL. Ensilado de forrajes y su empleo en la alimentación de rumiantes. Mundi-Prensa. España.1998. pp 13-19.
- Chabeauti E, Noblet J, Carré B. Digestion of plant cell walls from four different sources in growing pigs. Animal Feed Science and Technology. 1991; 32:207-213.
- Charette R, Bigras-Poulin M, Martineau G. Body condition evaluation in sows. Livestock Production Science. 1996; 46, 107– 115.
- Church DC, Pond WG. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales. 2ª. Ed. Editores Limusa, S.A. de C.V. México, D.F. 2004. pp 60-63.
- CMP. Confederación de Porcicultores Mexicanos AC, Consultado el 18 de Noviembre de 2010. Disponible [on line] <http://www.cmp.org/noticias/240306-2.htm>
- Cooper DR, Patience JF, Zijlstra RT and Rademacher M. Effect of energy and lysine intake in gestation on sow performance. Journal of Animal Science. 2001; 79: 2367-2377.
- Coyle W. The future of biofuels: a global perspective. Amber waves. USDA. Noviembre de 2007. Consultado en Noviembre de 2010. Disponible [on line] <http://www.ers.usda.gov/AmberWaves/November07/Features/Biofuels.htm>
- Dersjant-Li Y, Verstegen MW, Schulze H, Zandstra T, Boer H, Schrama JW and Verreth JA. Performance, digesta characteristics, nutrient flux, plasma composition, and organ weight in pigs as affected by dietary cation anion difference and nonstarch polysaccharide. Journal of Animal Science. 2001; 79: 1840-1848.
- Dierick, NA; Vervaeke, IJ; Demeyer, DI. and Decuyper, JA. Approach to the energetic importance of fibre digestion in pigs. 1. Importance of fermentation in the overall energy supply. Animal Feed Science and Technology.1989; 23:141-167.

- Dourmad J.y., Etienne M. and Noblet J. Reconstitution of body reserves in multiparous sows during pregnancy: effect of energy intake during pregnancy and mobilization during the previous lactation. *Journal of Animal Science*. 1996; 74:2211-2219.
- Dourmad JY, Etienne M, Prunier A, Noblet J. The effect of energy and protein intake of sows on their longevity: a review. *Livestock Production Science* 1994; 40: 87-97.
- Dourmad JY, Etienne M, Valancogne A, Dubois S, van Milgen J, Noblet J. Inraporc: A model and decision support tool for the nutrition of sows. *Animal Feed science and Technology*. 2008; 143: 372-386.
- Englyst HN, Kingman SM, Cumming JH. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 1992; 46: 33-50.
- Everts H, Dekker RA. Effect of protein supply during pregnancy and lactation on body composition of sows during three reproductive cycles. *Livestock Production Science*. 1995; 43: 137-147.
- Everts H, Smits B, Effect of crude fibre, feeding level, body weight and method of measuring on apparent digestibility of compound feed by sows. *World Rev. Anim. Prod.* XXIII, 1987; 40–43.
- Fan MZ, Sauer WC, Hardin RT, Lien KA. Determination of apparent ileal amino acid digestibility in pigs: effect of dietary amino acid level. *Journal Animal Science*. 1994; 72: 2851-2859.
- FAO. *Perspectivas alimentarias No. 4*. Departamento Económico y Social, Diciembre de 2004.(citado Octubre de 2010) disponible en: <http://www.fao.org/docrep/007/j3877s/j3877s08.htm>
- FAO: *Perspectivas alimentarias. Análisis de mercado mundial*, noviembre de 2007. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/010/ah876s/ah876s07.htm>
- FAO: *Perspectivas alimentarias. Análisis de los mercados mundiales*, Junio de 2010. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/012/ak349s/ak349s00.pdf>
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. 2008 (citado Noviembre 2010) <http://faostat.fao.org/default.aspx>
- Fernandez JA, Jorgensen H, Just A. Comparative digestibility experiments with growing pigs and adult sows. *Animal Production*. 1986; 43, 127–132.

- Galylean ML. Laboratory procedures in animal nutrition research. Department of animal and food science. 1980 Texas Tech University, Lubbock. pp 123-125.
- García Rendon y López Alfredo. 2009. Estudio comparativo entre tres diferentes programas de alimentación durante la gestación de la cerda y su efecto en el siguiente ciclo productivo. Tesis en Medicina Veterinaria y Zootecnia. 56 pp.
- Garnica JD, Restrepo JA, Parra JE. Digestibilidad total de materia seca y proteína cruda de *Boehmeria nivea* L. Gaud en cerdos en crecimiento. Livestock Research for Rural Development. 2010; 22 (10).
- Giang HH, Ly LV. Ogle B. Digestibility of dried and ensiled sweet potato roots and vines and their effect on the performance and economic efficiency of F1 crossbred fattening pigs. Livestock Research for Rural Development. 2004; 16 (7) pp1-13
- Gorman TBS, Chvojka R. Nutritional value and mercury content of fish silage for growing pigs. Animimal Feed Science Technology. 1983; 9: 169-179.
- Graham H, Hesselman K, Aman P. The influence of wheat bran and sugar-beet pulp on the digestibility of dietary components in a cereal-based pig diet. Journal of Nutrition. 1986; 116: 242-251.
- Hersom AC, Hulland ED. Conservas alimenticias. Editorial Acribia 7ma edición, 1980, Zaragoza España. pp 51-73.
- Hill FW and Anderson DL. Comparison of metabolizable energy and productive energy determinations with growing chicks. The Journal of Nutrition 1958; 64: 587-603.
- Hoang Huong Giang, Le Viet Ly and Brian Ogle. Digestibility of dried and ensiled sweet potato roots and vines and their effect on the performance and economic efficiency of F1 crossbred fattening pigs. Livestock Research for Rural Development. 2004; 16(7).
- Huang S, Sauer WC, Marty B. Ileal digestibilities of neutral detergent fiber, crude protein, and amino acids associated with neutral detergent fiber in wheat shorts for growing pigs. Journal of Animal Science. 2001; 79: 2388-2396.
<http://jas.fass.org/cgi/reprint/79/9/2388.pdf>
- Jagger S, Wiseman J, Cole DJA, Craigon J. Evaluation of inert markers for the determination of ileal and faecal apparent digestibility values in the pig. British Journal of Nutrition. 1992; 68: 729-739.

- Ji F, Wu G, Blanton JR, Jr, Kim SW. Changes in weight and composition in various tissues of pregnant gilts and their nutritional implications. *Journal of Animal Science*. 2005; 83: 366-375.
- JMP (2000) SAS/STAT User Guide 4th ed. Sas Inst. Inc. Cary NC, USA.
- Jondreville C, Gálvez JF. Estimación de la digestibilidad de aminoácidos en cereales y sus subproductos en dietas para ganado porcino. XI Curso de Especialización FEDNA. 1995; Disponible en: http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/95CAP_IV.pdf
- Jørgensen H, Kirsten J, Bjorn O.E. The influence of different protein, fat and mineral levels on the digestibility of fat and fatty acids measured at the terminal ileum and in faeces of growing pigs. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A- Animal Science*. 1992; 42: 177 – 184.
- Jørgensen H, Zhao, XQ, Eggum BO. 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. *British Journal of Nutrition* 1996; 75: 365–378.
- Kass ML, 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. *Journal Animal Science*. 1980; 50: 175-191.
- Kavanagh S, Lynch PB, O' Mara F, Caffrey PJ. A comparison of total collection and marker technique for the measurement of apparent digestibility of diets for growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 2001; 89: 49-58.
- Kim BG, Lindemann MD, Cromwell GL, Balfagon A, Agudelo JH. The correlation between passage rate of digesta and dry matter digestibility in various stages of swine. *Livestock Science*. 2007; 109: 81-84.
- Kirchgessner M, Kreuzer M, Machmüller A, Roth-Maier DA. Evidence for a high efficiency of bacterial protein synthesis in the digestive tract of adult sows fed supplements of fibrous feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology*. 1994; 46: 293-306.
- Kuehl RO. Diseño de experimentos, principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones. 2a. Ed. International Thomson Editores. México, D.F. 2001. pp 45-47; 553.
- La región ecoagro del 3 de Junio de 2006. Consultado el 15 octubre 2010. Disponible en: <http://news.soliclima.com/noticias/biosfera/produccion-de-etanol-en-estados-unidos>

- Lachmann M, Araujo FO. La estimación de la digestibilidad en ensayos con rumiantes. Departamento de Producción e industria animal. Universidad de Zulia. Facultad de Ciencias Veterinarias [On line] 2005. Consultado 10 de Octubre de 2010. Disponible en: www.avpa.ula.ve/docuPDFs/xcongreso/Digestibilidadderumiantes.pdf
- Lawrence, AB. and Terlouw, EMC. A review of behavioral factors involved in the development and continued performance of stereotypic behaviors. *Journal of Animal Science*. 1993; 71:2815-2825.
- Le Dividich, J., Seve, B. y Geoffroy, F Préparation et utilisation de l'ensilage de banane en alimentation animal. I. Technologie de l'ensilage, composition chimique et bilans de matières nutritives. *Annales de Zootechnie*. 1976; 25:313-323
- Le Goff G, Le Groumellec L, van Milgen J, Dubois S, Noblet J. Digestibility and metabolic utilization of dietary energy in adult sows: influence of addition and origin of dietary fibre. *British Journal of Nutrition*. 2002a; 87: 325-335.
- Le Goff G, Noblet J. Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *Journal of Animal Science*. 2001; 79:2418-2427.
- Le Goff G, van Milgen J, Noblet J. Influence of dietary fibre on digestive utilization and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows. *Animal Science*. 2002b; 74: 503-515.
- Le Van An, Tran Thi Thu Honga, Jan Erik Lindberg. Ileal and total tract digestibility in growing pigs fed cassava root meal diets with inclusion of fresh, dry and ensiled sweet potato (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)) leaves. *Animal Feed Science and Technology*. 2004; 14:127-139.
- Lee PA, Close WH. Bulky feeds for pigs: a consideration of some non-nutritional aspects. *Livestock Production Science*. 1987; 16: 395-405.
- Lekule Faustin P., Jørgensen Henry, Fernández José A., Just Arnold. Nutritive value of some tropical feedstuffs for pigs. Chemical composition, digestibility and metabolizable energy content. *Animal Feed Science and Technology*. 1990; 28: 91-101.
- Lin FD, Knabe DA, Tanksley TD. Apparent digestibility of amino acids, gross energy and starch in corn, sorghum, wheat, barley, oat groats and wheat middlings for growing pigs. *Journal Animal Science*. 1987; 64:1655–1663.

- Ly J. Bananas y plátanos para alimentar cerdos: aspectos de la composición química de las frutas y de su palatabilidad. Revista computarizada de producción porcina. 2004; 11: 5-24.
- Maes DGD, Janssens GPJ, Delputte P, Lammertyn A, de Kruif A. Back fat measurements in sows from three commercial pig herds: relationship with reproductive efficiency and correlation with visual body condition scores. Livestock Production Science. 2004; 91:57-67
- Martínez GR, Pradal RP, Castrejón PF, Heradora M, Galván E, Mercado C. Persistence of Escherichia coli, Salmonella choleraesuis, Aujeszky's Disease virus and Blue Eye Disease virus in ensilages based on the solid fraction of pig faeces. Journal of Applied Microbiology. 2001; 91: 750-758.
- Maynard LA, Loosli JK, Hintz HF, and Warner RG. 1985. 4a Ed. McGRAW-HILL de México, S.A. de C.V. Edo. de México, México. pp 34-48.
- McCarthy JF, Aherne FX, Okai DB. Use of HCl-insoluble ash as an index for determining apparent digestibility with pigs. Canadian Journal of Animal Science. 1974; 54: 107-109.
- McDonald, P; Edwards, RA; Greenhalgh, JFD. and Morgan, CA. 1999. Nutrición Animal. 5a. Ed. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza España. pp 205-207.
- Miguel, J. C. and Pettigrew J.E. The emerging picture of diet effects on gastrointestinal microbial populations. Midwest Swine Nutrition Conference Proceedings, Indianapolis, Indiana. September 08. 2005. Pp 45-57.
- Ministerio de agricultura y ganadería. Producción de soja en Paraguay: ZAFRA 2008/2010 (JUNIO 2010) consultado el 11/ Noviembre /2010. Disponible en: http://issuu.com/sectorproductivo/docs/produccion_de_soja_zafra_2008_-_2010
- Morel PCH, Lee TS, Moughan PJ. Effect of feeding level, live weight and genotype on the apparent faecal digestibility of energy and organic matter in the growing pig. Animal Feed Science and Technology. 2006; 126: 63–74.
- Mullan BP, Williams IH. The chemical composition of sows during their first lactation. Animal Production. 1990; 51: 375–387.
- Myer RO, Johnson DD, Otwell WS, Walker WR, Combs GE. Evaluation of scallop viscera silage as a hagh-protein feedstuff for growing-finishing swine. Animal Feed Science and Technology. 1990; 31: 43-53.

- National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academy of Science, Washington D.C. pp 118-127.
- National Researc Council, 1998. Nutrient Requirements of Swine, 3rd, National Academy of Sciences, USA. pp 110-1213.
- Nikolic JA, Jovanovic M. Some properties of apple pomace ensiled with and without additives. *Animal Feed Science and Technol.* 1986;15: 57-67.
- Nitrayová S, Heger J, Patrás P, Brestenský M. Effect of body weight and pig individuality on apparent ileal digestibility of amino acids and total nitrogen, *Slovak Journal Animal Science.* 2006; 39(1-2): 65-68.
- Noblet J, Dourmad JY and Etienne M. Energy utilization in pregnant and lactating sows: modeling of energy requirements. *Journal of Animal Science.* 1990; 68: 562-572.
- Noblet J and Perez JM. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. *Journal of Animal Science.* 1993. 71:3389-3398.
- Noblet J, Shi XS. Comparative digestibility of energy and nutrients in growing pigs fed ad libitum and adults sows fed at maintenance. *Livestock Production Science.* 1993a; 34: 137-152.
- Noblet J. Shi XS. Contribution of the hindgut to digestion of diets in growing pigs and adult sows: effect of diet composition. *Livestock Production Science.* 1993b; 34:237-252.
- O'Dowd S, Hoste S, Mercer JT, Fowler VR, Edwards SA. Nutritional modification of body composition and the consequences for reproductive performance and longevity in genetically lean sows. *Livestock Production Science.* 1997; 52: 155-165.
- Parker JW, Clawson AJ. Influence of level of total feed intake on digestibility, rate of passage and energetic efficiency of reproduction in swine. *Journal of Animal Science.* 1967; 26: 485–489.
- Patience JF, Austic RE, and Boyd RD. Effect of dietary electrolyte balance on growth and acid-base status in swine. *Journal of Animal Science.* 1987; 64: 457-466.
- Pérez CJ. 2008. Efectos y tendencias de las materias primas en la nutrición del cerdo. VII Ciclo de conferencias AMVEC, La Piedad. 15-20.

- Pérez R. Feeding pigs in the tropics. FAO.1997; M-23 ISBN 92-5-103924-0 [on line]
Consultado el 17 de Noviembre de 2010. Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/003/w3647e/W3647E05.htm>
- Peters D. Improving small-scale pig production in northern Vietnam. World Animal Review. FAO. 1998; No 91, 1998/2. pp. 2-12 . Disponible en:
<http://www.fao.org/ag/AGa/AGAP/FRG/FEEDback/War/W9980T/w9980e02.htm#TopOfPage>
- Pettigrew JE and Yang H. Protein nutrition of gestating sows. Journal of Animal Science. 1997; 75:2723–2730.
- Ramonet Y, Meunier-Salaün MC, Dourmad JY. High fiber diets in pregnant sows: digestive utilization and effects on behavior of the animals. Journal of Animal Science. 1999; 77:591-599.
- Ramonet Y, van Milgen J, Dourmad JY, Meunier Salaun MC, Noblet J. The effect of dietary fibre on energy utilisation and partitioning of heat production over pregnancy in sows. British Journal of Nutrition. 2000; 84: 85-94.
- Redman DR, Teague HS, Henderich HK. Cecal fistulation of the pig using two forms of indwelling cannulas. Journal Animal Science. 1964; 23:1032-1035.
- Rentería JA, Cuarón JA y Mejía-Guadarrama CA. Manejo y alimentación de la cerda gestante, pág. 91-117 en Mejía GCA, Cuarón IJA, Rentería FJA, Braña VD, Mariscal LG, 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. pp 91-96.
- Rérat A. Digestion and absorption of carbohydrates and nitrogenous matters in the hindgut of the omnivorous nonruminant animal. Journal Animal Science. 1978; 46: 1808-1837.
- Roth FX, Kirchgessner M. Digestibility of energy and crude nutrients in pigs in relation to feeding plane and live weight. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 1984; 51:79–87.
- Roux M. The effect of diets varying in dietary cation-anion difference fed in late gestation and in lactation on sow productivity. Thesis Master of Science. Louisiana State University.2005 pp 27

- Roux ML, Johnston SL, Lirette RD, Bldner TD, Southern LL, PAS and Jardon PW j. The effect of diets varying in dietary cation-anion difference fed in late gestation and in lactation on sow productivity. *The professional Animal Scientist*. 2008; 24: 149-155
- SAGARPA. Situación actual y perspectivas de la producción de carne de porcino en México 2006, Consultado el 18 de Noviembre de 2010. [on line] Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Estudios%20de%20situacion%20actual%20y%20perspectiva/Attachments/14/sitpor06d.pdf>
- Saha DC, Gilbreath RL. Analytical recovery of chromium from diet and faeces determined by colorimetry and atomic absorption spectrophotometry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1991; 55, 433-446.
- SAS Versión 9, 2002. SAS Institutud Inc. Cary NC, USA.
- Schurch AF, Crampton EW, Haskell SR, Lloyd L. The use of chromic oxide in digestibility studies with pigs fed ad libitum in the barn. *Journal Animal Science*. 1952; 11: 261–265.
- Secretaría de Desarrollo Urbano. Modificación del plan municipal de desarrollo urbano de Jilotepec. Gobierno del Estado de México. Septiembre de 2007 pp 21
- Serena A, Jorgensen H, Bach Knudsen KE. Digestion of carbohydrates and utilization of energy in sows fed diets with contrasting levels and physicochemical properties of dietary fiber. *Journal Animal Science*. 2008; 86: 2208-2216.
- Sinclair AG, Bland VC and Edwards SA. The influence of gestation feeding strategy on body composition of gilts at farrowing and response to dietary protein in a modified lactation. *Journal of Animal Science*. 2001; 79: 2397-2405.
- Slywester, K. and L. Wartenberg. 1968. The ensilage of piroxiloryb type as the source of the possible infection with *Salmonella typhimurium*. *Med. Wet.* 1968; 24: 329.
- Smits B, Jongbloed AW, Sebek LBJ. Effect of pelleting and feeding level on apparent digestibility and feeding value of diets for growing-finishing pigs. *Animal Feed Science Technology* 1994; 45: 349–362.
- Steel RGD, Torrie JH. 1960. Principles and Procedures of Statistics whit Special Reference to the Biological Sciences. McGraw Hill. New York.USA.
- Stein HH, Aref S, Easter RA. Comparative protein and amino acid digestibilities in growing pigs and sows. *Journal Animal Science*. 1999; 77: 1169-1179.

- Stein HH, Shipley CF, Easter RA. Technical note: A technique for inserting a T-Cannula into the distal ileum of pregnant sows. *Journal Animal Science*. 1998; 76:1433-1436.
- Takahashi T and Horiguchi K. Use of soiling rice crop silage as feed for growing pigs. *Grassland Science*. 2005; 51: 271-273.
- Tatterson IN. Fish silage preparation, properties and uses. *Animal Feed Science and Technology*. 1982; 7:153-159.
- Theil PK, Jørgensen H, Jakobsen K. Energy and protein metabolism in pregnant sows fed two levels of dietary protein. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 2002; 86:399-413.
- Tibbetts GW, Seerley RW, McCampbell HC, Vezey SA. An evaluation of an ensiled waste fish product in swine diets. *Journal Animal Science*. 1981; 52: 93-100.
- Titgemeyer EC, Armendariz CK, Bindel DJ, Greenwood RH, and Loest CA. Evaluation of titanium dioxide as a digestibility marker in cattle. *J. Anim. Sci.* 2001; 79:1059–1063
- Trombetta MF, Mattii S, Pasquini M, Falaschini A. Evaluation of the digestibility of *Lathyrus sativus* in growing pigs. *Ital. Journal Animal Science*. 2006; 5: 147-153.
- Tukey JW. “Comparing individual means in the analysis of variance”. *Biometrics*. 1949; 5: 99-114.
- Tullis JB and Whittemore CT. Digestibility of a fully hydrogenated tallow for growing pigs. *Anim. Feed Science and Technology*. 1980; 5:87–91.
- USDA, 2010, <http://www.nal.usda.gov>
- Van Leeuwen BYP, Veldman A, Boisen S, Deuring K, Van Kempen GJM, Derksen GB, Verstegen MWA, Schaafsma G. Apparent ileal dry matter and crude protein digestibility of rations fed to pigs and determined with the use of chromic oxide (Cr₂O₃) and acid-insoluble ash as digestive markers. *British Journal of Nutrition* 1996; 76: 551-562.
- Varel VH, Yen IT. Microbial perspective on fiber utilization by swine. *Journal of Animal Science*. 1997; 73: 2715-2722.
- Westcott PC. Ethanol expansion in the United States. How will the agricultural sector adjust?. USDA. ERS. 2007. Consultado en Noviembre de 2010. Disponible en: <http://www.ers.usda.gov/Publications/FDS/2007/05May/FDS07D01/fds07D01.pdf>
- Whittemore CT, Smith WC, Phillips P. Fatness, live weight and performance responses of food level in pregnancy. *Animal Production*. 1988; 47:123-130.

- Whittemore CT and Yang H. Physical and chemical composition of the body of breeding sows with differing body subcutaneous fat depth but parturition, differing nutrition during lactation and differing litter size. *Animal Production*. 1989; 48: 203-212.
- Woolford M, La fermentación de ensilado y su control, en *Biotecnología en la Industria de la Alimentación Animal*, Volumen VI, Alltech de México, México D.F. 1998:207-224.
- Woolford M. ¿Qué pasa durante el ensilado? ¿Es necesario? ¿Puede ser modificado para controlar los efluentes y hacerlo más adecuado para la fermentación ruminal? en *Biotecnología en la Industria de la Alimentación Animal*, Volumen III, Alltech de México, México D.F. 1992: 97-118.
- Yan T, Longland AC, Close WH, Sharpe CE, Keal HD. The digestion of dry matter and non-starch polysaccharides from diets containing plain sugar-beet pulp or wheat straw by pregnant sows. *Animal Science* 1995; 61: 305-309.
- Young MG, Tokach MD, Aherne FX, Main RG, Dritz SS, Good Band RD, and Nelssen JL. Comparison of three methods of feeding sows in gestation and the subsequent effects on lactation performance. *Journal of Animal Science*. 2004; 82: 3058-3070.
- Young MG, Tokach MD, Aherne FX, Main RG, Dritz SS, Goodband RD, Nelssen JL. Effect of sow parity and weight at service on target maternal weight and energy for gain in gestation. *Journal of Animal Science*. 2005; 83: 255-261.
- Zoioopoulos PE, English PR, Topps JH. High-fibre diets for ad libitum feeding of sows during lactation. *Animal Production*. 1982; 5:25-33.