



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA  
PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

“DIGESTIBILIDAD DE LA ENERGÍA Y PROTEÍNA EN DIETAS DE  
CERDAS ADULTAS ELABORADAS CON INGREDIENTES NO  
TRADICIONALES PRODUCIDOS EN LA REGION DEL BAJÍO  
MEXICANO”

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS

P R E S E N T A

Edgar David Avilés Ríos

TUTOR

Dr. César Augusto Mejía Guadarrama

COMITÉ TUTORAL

Dr. Gerardo Mariscal Landín  
Dr. Germán Borbolla Sosa



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

Para las personas creyentes, Dios esta al principio. Para los científicos está al final de todas sus reflexiones.

Max Planck (1858-1947)

Siempre he creído que mi esfuerzo ha sido recompensado en la justa medida en que fue ejercido, pero a veces he corrido con suerte. A través de los años, y aún si merecerlo, me he podido rodear de un pequeño grupo de personas que han vuelto mucho más fácil mi existencia: familia, amigos y compañeros.

Dedico mi vida y todo lo que he hecho a mis padres. Susana y Raúl. Gracias por regalar a este mundo un pedacito de diversión.

A mis hermanos, Raúl y Carlo, por ser mis compañeros y apoyo.

A Daniel, que es como mi hermano, por que hizo de mi infancia un tesoro invaluable.

A mi nueva familia: Víctor, Luz, Tere y Víctor hijo, ejemplos de empeño y superación.

A Alfredo, por tu invaluable amistad, apoyo y guía en los momentos más difíciles de mi vida, nunca lo olvidare.

A Virginia, por tu cariño y apoyo, sin ti no lo hubiera logrado.

A mis grandes amigos: Mónica, Gregorio, Luis Manuel, Jorge y Juan José que sin su ayuda y consejos no sería la mitad de lo que soy.

A mis compañeros y amigos: Flor, Armando y Bernardo.

A los Doctores del CENIDFyMA, que moldearon mi vida profesional.

Al los Doctores José Antonio Rentería Flores y Cesar Augusto Mejía Guadarrama que me tuvieron una increíble paciencia y ayuda, más allá del deber.

A los Doctores José Antonio Cuarón Ibargüengoytia y Diego Braña Varela que fueron una fuente de inspiración.

En especial a mis sobrinos y sobrinas, esperando poder transmitir en sus vidas el mismo amor que yo siento por el estudio.

Mi más profundo agradecimiento al personal del CENIDFyMA y en especial a Erika, Yessy, Doña Mary, Víctor, Don José y Arnulfo.

Gracias a la UNAM y al CONACYT por otorgarme la oportunidad de crecer profesionalmente.

Gracias a todas las instituciones y empresas involucradas en este trabajo

Gracias al proyecto CONACYT 12002 por permitirme ser parte importante en su realización y su apoyo en la realización de este trabajo de tesis

## CONTENIDO

### 1 INTRODUCCIÓN

### 2 REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 Definición de fibra dietaria

#### 2.2 Componentes y estructura de la fibra

#### 2.3 Características fisicoquímicas de la fibra

#### 2.4 Métodos para la caracterización de la fibra dietaria

#### 2.5 Efecto de la fibra dietaria sobre el tubo digestivo

#### 2.6 Literatura citada

### 3. HIPÓTESIS

### 4. OBJETIVOS

### 5. DISPONIBILIDAD DE INGREDIENTES NO TRADICIONALES CON POTENCIAL DE SER USADOS EN LA ALIMENTACIÓN DE CERDAS GESTANTES EN EL BAJÍO MEXICANO (VERSIÓN FINAL DEL RESUMEN ACEPTADO PARA SU PUBLICACIÓN EN LA REVISTA VETERINARIA MÉXICO)

#### 5.1 Resumen

#### 5.2 Abstract

#### 5.3 Introducción

#### 5.4 Materiales y Método

#### 5.5 Resultados

5.6 Discusión

5.7 Conclusión y recomendaciones

5.8 Literatura citada

6. EFECTO DEL NIVEL DE FIBRA EN LA DIETA SOBRE LA DIGESTIBILIDAD DE LA ENERGÍA Y EL NITRÓGENO EN CERDAS GESTANTES (RESUMEN PRÓXIMO A ENVIARSE A REVISIÓN PARA SU PUBLICACIÓN)

6.1 Introducción

6.2 Resumen

6.3 Abstract

6.4 Material y Método

6.5 Resultados y discusión

6.6 Conclusiones e implicaciones

6.7 Literatura citada

7. CONCLUSIONES

## **TABLA DE CUADROS Y FIGURAS**

Figura 2.2.1a. Estructura de la celulosa

Figura 2.2.1b. Asociación de dos cadenas lineales de celulosa

Cuadro 2.4.1. Fibra dietaria (celulosa, lignina y hemicelulosa) y fibra cruda del grano de trigo entero, g/100 g

Cuadro 2.4.2. Cuantificación de la fibra contenida en ingredientes fibrosos por los métodos de Weende, Van Soest y Prosky, %

Cuadro 5.4.1 total de empresas identificadas, divididas por actividad y el tipo de subproducto o desecho que generan

Cuadro 5.5.1 consumo anual de trigo, producción de harina y generación de subproductos derivados del trigo por empresa encuestada (miles de ton)

Cuadro 5.5.2. Consumo y producción de desperdicio de brócoli y coliflor de las empresas APEX y MAR BRAN (ton)

Cuadro 5.5.3. Oferta, demanda y disponibilidad actual anual de los subproductos identificados (ton)

Cuadro 5.5.4. Producción anual estimada de brócoli y coliflor para los estados de Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Querétaro y disponibilidad esperada para los siguientes 10 años en la zona del bajo mexicano (2010-2020)

Cuadro 6.4.1. Composición Y Análisis Calculado De Nutrientes De Las Dietas Experimentales

Cuadro 6.4.2. Análisis de laboratorio de las dietas experimentales

Cuadro 6.5.1. Peso inicial y consumo diario<sup>1</sup> de las cerdas alimentadas con las dietas experimentales

Cuadro 6.5.2. Consumo, excreción y digestibilidad aparente de nitrógeno en cerdas adultas

Cuadro 6.5.3. Consumo diario, excreción en heces y digestibilidad aparente de energía en cerdas adultas

Figura 6.5.1. Efecto del consumo de fibra detergente neutro (CFDN) sobre la digestibilidad aparente de energía (DAE) en cerdas gestantes alimentadas con diferentes niveles de fibra en la dieta

Figura 6.5.2. Efecto del consumo de fibra detergente ácido (CFDA) sobre la digestibilidad aparente de energía (DAE) en cerdas gestantes alimentadas con diferentes niveles de fibra en la dieta

Cuadro 6.5.4. Efecto del tratamiento sobre la digestibilidad de la dieta y de la fibra, %

## 1 INTRODUCCIÓN

En México, como en todo el mundo, a diario se generan millones de toneladas de productos, subproductos y esquilmos de origen agroindustrial (Mingan, 2007). Es sabido que la mayor parte de estos subproductos y desechos son destinados principalmente a la alimentación de los rumiantes. En no rumiantes se ha limitado el uso de subproductos agroindustriales debido a que, en general, estos ingredientes presentan un alto contenido de fibra, además de niveles variados de los distintos componentes de la misma.

Sin embargo, las presiones en la industria porcícola por reducir los costos de producción y la competencia por las fuentes de alimento ha promovido el uso de subproductos ricos en fibra (Noblet y Le Goff, 2001). En países donde existe dependencia por ingredientes producidos en el extranjero (en el caso de México: la pasta de soya), la tendencia es a disminuir dicha dependencia, sin provocar la competencia entre animales y humanos por recursos alimenticios, se ha favorecido el uso de desechos agrícolas y de subproductos agroindustriales generados localmente, también llamados “Ingredientes no Tradicionales”, para su uso en la alimentación de cerdos (García *et al.*, 1997, López y Méndez, 2002, Corzo *et al.*, 2004 y Schoijet, 2005).

En lo que se refiere a formulación de raciones para cerdos, es una práctica común restringir al máximo la inclusión de fibra en la dieta, aunque esta restricción es la que menos bases científicas y nutricionales tiene (Santoma G., 1997). Las principales razones en las que se fundamenta esta limitación son:

1. La dilución de la concentración de nutrientes y energía en la dieta.
2. El efecto negativo sobre la capacidad de consumo de los animales.
3. La relación inversa que existe entre el nivel de fibra en la dieta y la digestibilidad de los nutrientes.

Se ha visto que la inclusión de fibra en la dieta de los cerdos tiene efecto un negativo sobre la digestibilidad de la energía y la proteína, en el intestino delgado (Ramonet *et al.*, 2000; Zervas y Zijlstra, 2002) reduciendo así el valor nutritivo de la dieta. Sin embargo, la capacidad para digerir dietas con alto contenido de fibra se incrementa con la edad y el peso corporal de los animales (Noblet y Le Goff, 2001).

La información obtenida hasta el momento con algunos subproductos ricos en fibra y su efecto sobre el tubo gastrointestinal, y por lo tanto sobre la digestibilidad, ha hecho que el uso de ingredientes no tradicionales en la alimentación de cerdos en sistemas de producción intensiva sea una opción atractiva (Owusu-Asiedu *et al.*, 2006). Sin embargo, se ha observado que el efecto de los distintos ingredientes varía debido a los diferentes orígenes botánicos de la materia prima, así como del tipo y cantidad de fibra que contienen. Aunado a esto, la distinta capacidad para digerir dietas altas en fibra en cerdos en distinta etapa de producción, no permite extrapolar la información entre los distintos ingredientes o entre animales de distinta edad y peso. Lo anterior hace necesario generar la información individual de cada ingrediente fibroso en las distintas etapas de la producción.

La falta de información sobre la inclusión de fibra en la dieta y su efecto sobre el tubo gastrointestinal hace que aún con todo lo anteriormente mencionado, no se pueda establecer con precisión un nivel máximo de inclusión para cada tipo de ingrediente fibroso. Por lo anterior es imperativo generar el conocimiento necesario para poder hacer un uso racional y estratégico de los diferentes ingredientes no tradicionales con potencial de ser incluidos en la dieta de los cerdos.

## **2 REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 Definición de fibra dietaria**

La palabra “fibra” es utilizada para señalar partes estructurales de las plantas hace más de 300 años (The anatomie of plantes, 1682). Pero fue hasta 1806 que el adjetivo “cruda” fue utilizado (Trowell, 1977). Inicialmente, el concepto de “fibra” fue definida como: Parte estructural de las plantas”. Pero debido a la complejidad y diversidad de los componentes que integran a ésta, la definición tuvo que evolucionar conforme fueron desarrollando nuevas y mejores técnicas que caracterizaban con mayor exactitud esta fracción de las plantas.

El término de “fibra dietaria” fue usado por primera vez como una expresión corta para designar la fracción no digestible de las plantas (Hipsly E. H., 1953). Posteriormente fue restringido a “celulosa, hemicelulosa y lignina” y después se sustituyó el término hemicelulosa por el de “otras matrices de polisacáridos” (Trowell, 1976).

Durante los años 70's, Trowell y otros autores, fueron modificando el concepto de fibra dietaria tratando de incluir todos aquellos componentes que hasta el momento no se habían contemplado, proporcionando una definición fisiológica. Así, en 1976, Trowell la redefinió como “suma de polisacáridos y lignina, que no son digeridos por secreciones endógenas del tubo digestivo de los humanos”.

Actualmente, hay dos definiciones que son las más aceptadas por los científicos para describir a la fibra dietaria, una fisiológica y otra química. Aún estas definiciones tienen deficiencias al describir a la fibra dietaria, por lo que una u otra de ellas es usada según se adapten a las necesidades del investigador (Bach Knudsen, 2001).

La definición fisiológica refiere a la fibra como los componentes dietarios resistentes a la degradación por las enzimas de los mamíferos. Esta definición no contempla aquellos componentes que escapan a la degradación enzimática en el tubo digestivo superior pero que son susceptibles a la degradación por bacterias presentes en el ciego y colon (Varel y Yen, 1997), generando en el proceso algunos productos de desecho, entre los cuales están los ácidos grasos de cadena corta. Estos pueden ser absorbidos a través de la pared del intestino grueso y ser utilizados en la generación de energía adicional para el animal (Yen *et al.*, 1991). Debido a esto, la digestibilidad y el valor energético de la fibra está subestimado cuando se usa la definición fisiológica.

La definición química describe la fibra como la suma de los polisacáridos no amiláceos (PNA) y la lignina (Theander *et al.*, 1994). Esta definición no incluye a aquellos componentes de las plantas que escapan a la digestión por enzimas de mamíferos como el almidón resistente pero que pueden ser degradados en el tubo digestivo posterior (Haralampu, 2000).

Otros autores describen a la fibra como “la suma de polisacáridos no amiláceos (PNA) y lignina, predominantemente componentes de la pared celular, que no son hidrolizados por enzimas endógenas del sistema digestivo de los mamíferos” (Anderson, 1985; Davidson, 1988; Wenk, 2001). La ventaja de esta última definición es que describe las características de la fibra dietaria, las cuales pueden ser analizadas por métodos existentes y hacen una distinción precisa entre los polisacáridos incluidos en la fibra dietaria y el almidón.

## 2.2 Componentes y estructura de la fibra

Dentro de su definición, Trowell (1976) dividió a la fibra dietaria en 2 fracciones: polisacáridos estructurales y lignina, posteriormente se le añadió a esta clasificación otra fracción, los polisacáridos no estructurales. Esta mezcla de compuestos es encontrada principalmente en la pared celular de las plantas.

Los polisacáridos estructurales incluyen a la celulosa, a la matriz de polisacáridos no amiláceos, que genéricamente llamaron hemicelulosa (Trowell, 1976) y a la pectina. La porción de polisacáridos no estructurales incluyen a las gomas y mucilagos (Varel y Yen, 1997). A continuación se abordan cada uno de los principales componentes que incluyen los polisacáridos estructurales.

La celulosa es un arreglo de monómeros de glucosa unidas por enlaces  $\beta$ 1-4 glucosídicos que le confiere a la celulosa una organización lineal con estructura rígida fortalecida por enlaces covalentes establecidos entre los grupos O-OH de de la misma cadena (Figura 2.2.1a). Con esta conformación, varias cadenas de celulosa adyacentes pueden formar una red de puentes de hidrógeno inter e intracuaternarios (Figura 2.2.1b), dando como resultado la formación de fibras supramoleculares lineales y estables de gran resistencia a la tensión, (Vries y Vrisser, 2001).

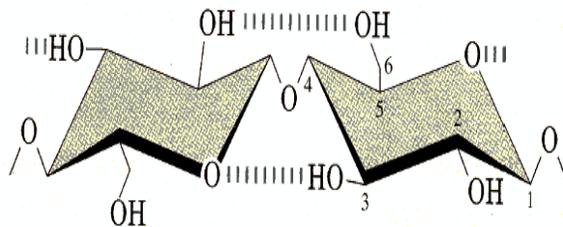


Fig. 2.2.1a. Estructura de la celulosa. Enlace  $\beta$  1-4 glucosídico y enlaces covalentes.



Fig. 2.2.1b. Asociación de 2 cadenas lineales de celulosa por enlaces de nitrógeno.

La hemicelulosa esta formada de diversos polisacáridos como las pentosas: arabinosa y xilosa; hexosas: galactosa, manosa, ramnosa y fructosa (Selvendran, 1984). Existe un tipo de celulosa con estructura cristalina formada

por segmentos cortos de celulosa unidos por hemicelulosa (Lynd *et al.*, 2002). Entre la hemicelulosa se contemplan los  $\beta$ -glucanos que son cadenas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos  $\beta$  1-4 pero también posee enlaces  $\beta$  1-3 que permiten la ramificación de la molécula limitando los enlaces covalentes por lo que las moléculas de  $\beta$ -glucanos son menos rígidas (Vries y Vrisser, 2001).

La pectina es un polímero de ácido galacturónico con grupos metoxi (-CHO<sub>3</sub>) que puede tener cadenas laterales de glucosa, galacturosa o ramnosa (Southgate DAT, 1993).

Otro componente importante de la pared celular es la lignina y aunque no es un polisacárido influye de forma importante en el proceso digestivo. Este es un complejo grupo formado por la oxidación de fenilpropano y moléculas de alcohol que forman cadenas muy ramificadas (Jung y Allen 1995).

Esta mezcla heterogénea que conforma a la fibra dietaria es encontrada predominantemente en la pared celular de las plantas que puede estar formada de 60% de agua, 5-15% de hemicelulosa, 10-15% celulosa, 2-8% de sustancias pectinadas, 0.5-3% lípidos y 1-2% de proteínas (Bach Knudsen, 2001). La variación en el contenido de las plantas se debe a un gran número de factores como: especie, parte de la planta, edad de la planta, sistema cultivo, sistema de cosecha, entre otros (Eastwood, 1992, Nuzback *et al.*, 1994).

### 2.3 Características fisicoquímicas de la fibra

La fibra dietaria posee propiedades fisicoquímicas únicas, responsables de diversas respuestas fisiológicas (Dikeman, 2006). Estas características están directamente relacionadas con el tipo de polímeros que constituyen la pared celular y su asociación intermolecular (Mc Dougall *et al.*, 1996). Las propiedades de hidratación están caracterizadas por la capacidad de solubilización, la capacidad de retener agua y la capacidad de ligar agua (Bach

Knudsen, 2001). Para que un compuesto se solubilice, primero debe hincharse, esto es, incorporar agua separando las macromoléculas del compuesto hasta que no pueden dispersarse más, entonces el compuesto se solubilizará (Thibault *et al.*, 1992).

La capacidad de retener agua y la capacidad de ligar agua, términos que han sido utilizados indistintamente en la literatura, describen la propiedad de la fibra para incorporar agua a su matriz (Bach Knudsen, 2001), o sea, hincharse, por lo que la capacidad de retener o ligar agua estará estrechamente relacionada con el grado de solubilización de la fibra dietaria. La capacidad de hincharse varía entre los distintos componentes de la fibra. Aquellas cadenas lineales, bien organizadas, como la celulosa, o de estructuras rígidas fuertemente unidas, como la lignina, poseen una capacidad de hincharse baja (Thibault *et al.*, 1992), por lo tanto son poco solubles o insolubles. Por otro lado, los compuestos como pectinas,  $\beta$ -glucanos y gomas (Lin Chen *et al.*, 1981) tienen una mayor capacidad de retener agua debido a que su estructura ramificada es más flexible y capaz de hincharse hasta solubilizarse.

La mayoría de los polisacáridos forman soluciones viscosas al ser solubilizadas en agua. La viscosidad depende principalmente del peso molecular del polímero (Bach Knudsen, 2001). Sin embargo, la solubilidad puede ser un buen indicador de viscosidad. Dikeman y colaboradores (2006), mostraron que la celulosa, polisacárido insoluble, tuvo un menor impacto sobre la viscosidad gástrica e ileal en humanos en comparación con polímeros altamente solubles como la carboximetilcelulosa (polímero de celulosa modificada altamente soluble), así como ingredientes fibrosos con alto contenido de fibra soluble (FS) como el salvado de avena que generó una mayor viscosidad en comparación con el salvado de trigo (9.1 y 3.4 g/100g FS, respectivamente). En este mismo trabajo, mostraron que la concentración de la fuente de fibra también influyó en el grado de viscosidad.

## 2.4 Métodos para la caracterización de la fibra dietaria

Uno de los métodos más arraigados en la alimentación animal para la determinación de la fibra dietaria es el análisis de Fibra Cruda (FC) o método de Wendee. Este es un método gravimétrico que designa como fibra cruda al residuo, desgrasado por extracción exhaustiva con solventes, digerido secuencialmente con una solución ácida y una solución alcalina. Mediante esta técnica se pierde el 80% de la hemicelulosa y 50-90% de la lignina antes de que el residuo sea estimado, y solo se recupera el 50-80% de la celulosa (Van Soest *et al.*, 1973). Dos autores mostraron que la celulosa más la hemicelulosa y la lignina caracterizadas en el grano de trigo entero molido es mayor, hasta en un 81%, en comparación con la estimación de fibra por el método Weende (Cuadro 2.4.1).

Cuadro 2.4.1. Fibra dietaria (celulosa, lignina y hemicelulosa) y fibra cruda del grano de trigo entero, g/100 gr.

Investigador	Fibra Dietaria		Total <sup>1</sup>	FC <sup>2</sup>
	Celulosa y lignina	Hemicelulosa		
Southgate, 1969	3.7	7.5	11.2	2.1
Fraser, 1968	4.4	6.5	10.9	2.1

<sup>1</sup>Total= Celulosa y lignina + Hemicelulosa. <sup>2</sup>Fibra Cruda. Adaptada de Trowell, 1976.

A pesar de que ya se contaba con esta información desde los años 70's, en algunos países aún se utiliza la determinación de fibra cruda como método oficial (Close, 1993). Por lo que sus aproximaciones sobre el valor nutricional y energético esperado de sus dietas pueden estar sobrevalorados.

Posteriormente se desarrolló un método de cuantificación para la celulosa, la hemicelulosa y la lignina para muestras ricas en fibra (Van Soest 1963 a, b). Este método se basa en la cuantificación de la fibra por métodos gravimétricos al someter la muestra a una de dos soluciones detergentes, una a pH neutro

(fibra detergente neutro) y otra a pH ácido (fibra detergente ácido). El residuo de la Fibra Detergente Neutro (FDN), está formada por las fracciones de celulosa, hemicelulosa y lignina. El residuo del otro detergente, Fibra Detergente Ácido (FDA), se compone por la celulosa y la lignina de la muestra. La diferencia entre estas dos determinaciones es la hemicelulosa (*i.e.* FDN-FDA=hemicelulosa). Para cuantificar la lignina, el residuo de FDA es tratado con una solución concentrada de ácido sulfúrico, lavado, secado a 100°C y pesado. El residuo es incinerado, la pérdida de peso en la incineración se toma como lignina y las cenizas residuales como sílice. Este método mejora importantemente la cuantificación de la fibra dietaria en comparación con el de Wendee, además que permite cuantificar por separado tres fracciones con diferentes características fisicoquímicas. Sin embargo, se ha reportado que partes de polisacáridos no amiláceos solubles y pectinas insolubles en agua se pierden en el proceso de la FDN así como también pueden quedar restos de almidón resistente y proteína en este mismo residuo. También se ha sugerido que existen pérdidas de la fracción de lignina por acción del sulfito de sodio usado en esta determinación (Hindrichsen *et al.*, 2006). Por su parte en el proceso de FDA puede ser incapaz de digerir toda la hemicelulosa y ser retenida en el residuo final (Bach Knudsen., 2001). De la misma forma, se ha visto que la fracción de lignina puede ser subestimada mediante el proceso de FDA, debido a que este detergente puede solubilizar parcialmente la lignina (Hindrichsen *et al.*, 2006).

En la segunda mitad de la década de los años 80's se desarrolló un método gravimétrico que combina dos procesos distintos, enzimático y químico, para extraer con mayor eficiencia componentes no fibrosos de la muestra y determinar con mayor precisión el contenido de la fibra dietaria (Prosky *et al.*, 1985). Este método somete la muestra, a una digestión secuencial con enzimas termoestables:  $\alpha$ -amilasa, proteasa y amilogucosidasa para remover el almidón y la proteína (proceso enzimático). La digesta, resultado de este proceso enzimático, es tratada con una solución de etanol para precipitar la fracción

soluble de la fibra y así ser recuperada junto con la fibra insoluble por filtración. El residuo es lavado con etanol y acetona. La mitad del residuo es analizado para proteína y la otra mitad incinerado para calcular el contenido de cenizas para ajustar el valor de la fibra total dietaria (FTD).

Posteriormente, se modificó el método de FTD para poder obtener de forma separada la fracción de fibra insoluble (FIS) y la de fibra soluble (FS) (Prosky *et al.* 1988). La digesta es filtrada y el residuo retenido (i.e. FIS) es lavado con agua caliente, etanol y acetona, secado y pesado. Al filtrado resultante se le añade alcohol y es incubado por 8 horas para precipitar la FS, después se filtra nuevamente, se lava con alcohol y acetona, es secado y pesado. Los valores de ambos residuos son corregidos para proteína y cenizas como en el método de FTD.

Las técnicas de cuantificación de fibra por su solubilidad es más eficiente que los métodos de Weende y Van Soest. En el cuadro 2.4.2 se muestra como la determinación de FC y FDN subestiman la cantidad de fibra contenida en algunos ingredientes utilizados en dietas para cerdas, en relación con la FTD. De igual forma, la determinación de FDA subestima la cantidad de celulosa y lignina, en comparación con la FIS, compuesta también por estos mismos polímeros. Además, ofrece una ventaja con relación a los dos métodos anteriores, ya que permite estudiar por separado los efectos de la FS y FIS sobre el tubo gastrointestinal del animal.

Cuadro 2.4.2. Cuantificación de la fibra contenida en ingredientes fibrosos por los métodos de Weende, Van Soest y Prosky, % <sup>a</sup>

Ingredientes	FC <sup>b</sup>	FDN <sup>b</sup>	FDA <sup>b</sup>	FS <sup>b</sup>	FIS <sup>b</sup>	FTD <sup>c</sup>
Harina de soya-47%	3.0	8.9	5.4	1.4	26.2	27.6
Maíz	2.6	9.0	3.0	1.7	4.7	6.4
Paja de trigo	41.6	85.0	54.0	0.5	71.0	71.5
Pulpa de remolacha	19.8	54.0	33.0	11.7	53.9	65.6

Cascarilla de soya	40.1	67.0	50.0	8.4	75.5	83.9
--------------------	------	------	------	-----	------	------

<sup>a</sup>Fuentes: NRC (1998), NRC (1988), Dale (1988), Marlett (1993) y Laboratorio de análisis de la Universidad de Minesota. <sup>b</sup> FC=fibra cruda, FDN= fibra detergente neutro, FDA= fibra detergente ácido, FS= fibra soluble, FIS= fibra insoluble y FTD= fibra total dietaria, <sup>c</sup>FTD= FS+FIS. Adaptada de Rentería, 2003b.

## 2.5 Efecto de la fibra dietaria sobre el tubo digestivo

El cerdo es un animal omnívoro con un sistema digestivo bastante desarrollado y capaz de digerir dietas fibrosas (Kyriazakis, 2006). En relación con las aves y los rumiantes, el cerdo posee los intestinos delgado y grueso mas grandes en relación con el volumen total del tubo digestivo (Wenk, 2001). Las dos principales diferencias entre estos segmentos son el tipo de digestibilidad (*i.e.* enzimática y fermentación bacteriana, respectivamente) y el tiempo de retención de la digesta (Bach Kundsen., 2001). En adición, el tipo y lugar de absorción de nutrientes dependerá del segmento donde se lleve la digestión (Wilfart *et al.*, 2007).

Se ha considerado a la fibra dietaria como un factor antinutricional por que limita la digestibilidad de los nutrientes (Vries y Vrisser, 2001). De forma práctica, el concepto de digestibilidad es el resultado de dos procesos: la digestibilidad como tal (*i.e.* hidrólisis y absorción) y la velocidad de tránsito (Wilfart *et al.*, 2007). La comprensión del efecto de la fibra sobre estos dos elementos, junto con la dinámica celular estructural y funcional, es crucial para el entendimiento de la fisiología digestiva de los cerdos (Jin *et al.*, 1994).

El efecto de la fibra dietaria sobre el tubo digestivo se puede observar desde el inicio de la digestión, con la prensión, hasta la excreción de las heces. El nivel de fibra en la dieta (Whittaker *et al.*, 1999) y el volumen de alimento ofrecido (Meunier-Salaüm *et al.*, 2001) tienen efecto sobre el tiempo usado para consumir la ración. Para evaluar cambios en el comportamiento de cerdas gestantes, Denilsen y colaboradores (2001), utilizaron 3 diferentes niveles de inclusión y tipo de fibra en cerdas gestantes: una dieta control (CRL; 43 g/kg de

FS y 133 g/kg de FIS) y dos dietas altas en fibra, una con inclusión de pulpa de remolacha (SBP; 203 g/kg de FS y 243 g/kg de FIS) y otra con una mezcla de fuentes de forraje (MFS; 30 g/kg de FS y 314 g/kg FIS). A las cerdas designadas al tratamiento CRL les tomo menos tiempo en consumir la ración (13.5 min/d), en comparación con las dietas SBP y MFS que tardaron 39.6 y 22.14 min/d, respectivamente. De igual forma, Robert y colaboradores (2001), observaron que las cerdas que consumieron una dieta alta en fibra (39% FDN) tardaron  $56.7 \pm 2.4$  min/d en ingerir 3.1kg de alimento mientras que las cerdas que consumieron la dieta control (20% FDN) solo tardaron  $24.9 \pm 1.1$  min/día en consumir 2.2 kg de alimento. Se ha visto que a los cerdos le toma más tiempo para ingerir dietas altas en fibra por que introducen a la cavidad oral una menor cantidad de alimento que requiere una mayor tiempo de masticación en comparación con las dietas bajas en fibra (Ramonet *et al.*, 1999).

Estudios en ratas (Larsen *et al.*, 1994) y en cerdos (Bach Knudsen, 2001) reportaron que la fibra soluble incrementa el tiempo de retención de la digesta en el estómago al incrementar la viscosidad. Guerin y colaboradores (2005) compararon diferentes tipos de carbohidratos con respecto a su influencia sobre la viscosidad y vaciado gástrico en cerdos de 40 kg. La dieta control basada en almidón (CRL) fue comparada con una dieta rica en celulosa (CL) y otra dieta rica en pectinas solubles (PS). La dieta PS incremento la viscosidad del contenido gástrico significativamente, lo que resulto en un tiempo mayor de retención en comparación con la dieta CRL y la dieta rica en CL (112, 78 y 63 min, respectivamente) En contraste, estudios recientes mostraron que el incremento en la viscosidad de la dieta de lechones recién destetados por inclusión de 1% de carboximetilcelulosa no afectó el tiempo de retención de la digesta en el estómago (Fledderus *et al.*, 2007).

La secreción gástrica también puede ser modificada por la fibra dietaria (Korczyński *et al.*, 1997). Dietas altas en fibra incrementaron la secreción total de jugo gástrico, el volumen total de pepsina y su actividad en comparación con

dietas con inclusión media y baja de fibra. De forma similar, Zebrowska y colaboradores (1983), reportaron que cerdos en crecimiento alimentados con una dieta alta en fibra secretaron dos veces más jugo gástrico por día que cerdos alimentados con una dieta purificada (*i.e.* 8 y 4 L, respectivamente). Se ha visto que la viscosidad de la dieta incrementa el pH gástrico al incrementar la viscosidad de la digesta por la inclusión de caboximenticelulosa en dietas para ratas en desarrollo en comparación con una dieta de baja viscosidad (Larsen *et al.*, 1994). Aun que en este experimento no encontraron diferencias en la actividad potencial de la pepsina, los autores teorizan que un incremento en el pH puede reducir la secreción total de pepsinógeno por la inhibición de la secreción de secretina y gastrina debido al incremento del pH. En contraste, se ha reportado que la inclusión de fibra en la dieta incrementa la salida de H<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> al lumen gástrico (Korczyński *et al.*, 1997).

Al igual que en el estómago, la inclusión de fibra soluble se relaciona positivamente con la viscosidad de la digesta (Dikeman 2006). La adición de goma guar en la dieta disminuyó la tasa de pasaje de la digesta por el intestino delgado (Owusu-Asiedu *et al.*, 2006). Se ha sugerido, que el esfuerzo del intestino delgado para propulsar la digesta viscosa ocasiona un incremento en el tamaño del tubo gastrointestinal (Wyatt *et al.*, 1988). El tubo gastrointestinal del cerdo utiliza una gran proporción de la energía de mantenimiento disponible (Ferrel y Jenkins, 1985) por lo que, el incremento del tamaño de los órganos limitaría la cantidad de energía metabolizable para la producción. Aunque la información al respecto no es consistente, si se ha mostrado que tanto la fibra soluble como la fibra insoluble afectan la dinámica celular de la mucosa intestinal modificando la altura, profundidad y número de vellosidades intestinales (Hedeman *et al.*, 2006). La inclusión de paja de trigo en la dieta de cerdos en desarrollo incrementó la muerte celular en la mucosa del intestino delgado y al mismo tiempo aumentó la tasa de generación celular en las criptas de las vellosidades, obteniendo una mayor tasa de recambio celular (Jin *et al.*,

1994). Los autores apoyan la hipótesis de que este proceso celular adaptativo tiene gran influencia sobre el uso eficiente de la energía.

La fibra dietaria influye sobre los procesos digestivos en los cerdos (Noblet y Pérez, 1993). El efecto de la fibra dependerá de la fuente y composición de la fibra en relación a sus características fisicoquímicas (Ehle *et al.*, 1982), así como el nivel de inclusión (Kass *et al.*, 1980). Cambios en la relación de FS y FI tienen diferente efecto sobre la digestibilidad de los nutrientes en cerdos (Le Goff *et al.*, 2002) y en perros (Burkhalter *et al.*, 2001). Dietas adicionadas con salvado de trigo (13.5 g/kg FS y 93 g/kg FI) y pulpa de remolacha (47.3 g/kg FS y 68.2g/kg FI) con niveles similares de FTD, 106.5 y 115.5g/kg respectivamente, tuvieron similar efecto sobre la digestibilidad ileal aparente de la energía y proteína cruda al reducir en 10 y 6 unidades porcentuales con respecto a la dieta control baja en fibra (Wang *et al.*, 2002). El incremento en la viscosidad de la digesta por la inclusión de FS afecta negativamente la digestibilidad ileal al reducir la interacción entre el sustrato y las enzimas digestivas (Owusu-Asiedu *et al.*, 2006), así como de los nutrientes con la superficie de absorción. Por otro lado la fibra insoluble incrementa la velocidad de tránsito impidiendo la acción enzimática sobre el sustrato y la absorción, mostrando que la digestibilidad es el resultado de la competencia entre la tasa de pasaje y la tasa de digestión (Ehle *et al.*, 1982; Kass *et al.*, 1980).

Se ha reportado que el efecto de la fibra sobre la digestibilidad no tiene el mismo impacto en cerdos de diferente edad y peso. Esto quedó evidenciado por Le Goff y colaboradores (2002) que mostraron que los cerdos en finalización tuvieron una mayor habilidad para digerir dietas altas en fibra en comparación con cerdos en crecimiento y al mismo tiempo, cerdas adultas fueron mucho más eficientes en digerir las dietas fibrosas en comparación con los cerdos en crecimiento y finalización. De acuerdo con lo anterior, Rentería *et al.* (2008) mostró que cerdas multíparas (192 kg PV) tuvieron una mayor digestibilidad de energía y nitrógeno en comparación con cerdas nulíparas (141 kg PV) cuando se les dio dietas altas en fibra. En este trabajo también se encontró que en las

cerdas más pesadas tuvieron una mayor digestibilidad de FI en comparación con las cerdas ligeras.

Estas investigaciones apoyan la teoría de que los animales más grandes (en edad y peso) tienen una mayor capacidad en su tubo gastrointestinal para alojar por más tiempo la digesta y permitir una mayor digestibilidad y absorción de nutrientes (Noblet y Le Goff, 2001) y una mejor fermentación de la fibra (Bach Knudsen 2001). Aunado a lo anterior, Stein y colaboradores (2001) mostraron que los animales restringidos en su consumo diario de alimento, como las cerdas gestantes, tuvieron una mejor digestibilidad total aparente de la dieta, debido a que al consumir menor cantidad de materia seca el volumen de secreciones endógenas es menor en comparación con animales con consumo *ad libitum* y la velocidad de tránsito es menor por lo que permite la acción de las enzimas digestivas por más tiempo.

La mayor habilidad de la cerda gestante para digerir dietas altas en fibra, reduciendo el impacto de la fibra sobre la digestibilidad, así como el consumo limitado al que se somete la cerda gestante permite eliminar el efecto al diluir los nutrientes y energía de la dieta que se compensaría con un incremento en la ración diaria, sin que el consumo voluntario del animal sea una limitante, hace de las cerdas gestantes la mejor opción para usar en la formulación de su dieta ingredientes no tradicionales con alto contenido de fibra.

## 2.6 Literatura citada

Anderson, J.W. 1985. Physiological and metabolic effects of dietary fiber. Fed. Proc. 44: 2902-2906.

Bach Knudsen KE. 2001. The nutritional significance of “dietary fiber” analysis. Anim. Feed. Sci. Technol. 90: 3-20.

Burkhalter T. M., Marchen N. R., Bauer L. L., Murray S. M., Patil A. R., Bret J. L. Jr., Fahey G. C. Jr. The ratio of insoluble to soluble fiber components in soybean hulls affects ileal and total-tract nutrient digestibilities and fecal characteristics of dogs. J. Nutr. 131:1978-1985.

Close, W.H. 1993. Fibrous diets for pigs. Page 107 in Animal Production in Developing Countries. M. Gill, E. Owen, G.E. Pollott and T.L.J. Lawrence eds. Occasional Publication No. 16 Br. Soc. Anim. Prod. Midlothian, U.K.

Corzo M, Salgado V, Bravo M, Román R. 2004. Efecto de diferentes niveles de restricción de alimento balanceado sobre el consumo de Auyama (*Cucurbita maxima*) y el comportamiento productivo en cerdos en la etapa de engorde. Revista Científica. 14(5): 419-423.

Davidson, M.H., and A. McDonald. 1998. Fiber forms and functions. Nutr. Res. 18:617-624.

Denilisen V, and Vestergaard EM. 2001. Dietary fibre for pregnant sows: effect on performance and behavior. 90: 71-80.

Dikeman CL, Murphy MR, Fahey GC. 2006. Dietary fibers affects viscosity of solutions and stimulated human gastric and small intestinal digesta. J. Nutr. 136: 913-919.

Eastwood, M.A. 1992. The physiological effect of dietary fiber: An update. Annu. Rev. Nutr. 12:19-35.

Ehle FR, Jeraci JL, Robertson JB and van Soest PJ. 1982. The influence of dietary fiber on digestibility, rate of passage and gastrointestinal fermentation in pigs. J. Anim. Sci. 55 (5): 1071-1081.

Ferrell CL and Jenfins TG. 1985. Cow type and nutritional environment: Nutritional aspects. J. Anim. Sci. 61: 725.

Fleederus J., Bikker P. and Kluess J. W. 2007. Increasing diet viscosity using carboxymethylcellulose in weaned piglets stimulates protein digestibility. Livestock Science. 209: 89-92.

García C, González J, Escobar A. 1997. Efectos del nivel de incorporación del follaje deshidratado de batata (*Ipomoea batatas*) en raciones para cerdas gestantes y lactantes sobre el comportamiento productivo y reproductivo. Arch Latinoam. Prod. Anim. 5 (Supl 1): 285-287

Guering S, ramonet Y, LeClorec J, Meunier-Salaün MC, Bourget P, Malbert CH. 2005. Changes in intragastric meal distribution are better predictors of gastric emptying rate in conscious pigs that are meal viscosity or dietary fibre concentration. Br. J. Nutr. 85: 343-350.

Haralampu, S.G. 2000. Resistant starch – a review of the physical properties and biological impact of RS<sub>3</sub>. Carbohyd. Polymers. 41:285-292.

Hedemann MS, Eskildsen M, Laerke HN, Pedersen C, Lindberg JE, Laurinen P and Bach Knudsen KE. 2006. Intestinal morphology and enzymatic activity in newly weaned pings fed contrasting fiber concentrations and fiber properties. J. Anim. Sci. 84: 1375-1386.

Hipsley EH. 1953. Dietary 'fibre' and pregnancy toxemia. *British. Medical Journal* 2, 420–422.

Hindrichsen IK., Kreuser M., Madsen J., and Bach Knudsen KE. 2006. Fiber and lignin analysis in concentrate, forage and feces: detergent versus enzymatic-chemical method. J. Dairy Sci. 89:2168-2176.

Jin L. Reynolds LP, Redmer DA, Caton JS, Crenshaw. 1994. Effects of dietary fiber on intestinal growth, cel proliferation, and morfology in growing pigs. J. anim. Sci. 72: 2270-2278

Jung, H.G. and M.S. Allen. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. J. Anim. Sci. 73:2774-2790.

Kass ML, Van Soest PJ, Pond WG. 1980. Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. 1. Aparent digestibility of diet components in specific segments of the gastrointestinal tract. J. Anim. Sci. 50 (1): 175-191

Korczyński, W., M. Budzyńska, and T. Zebrowska. 1997. The influence of dietary fiber on gastric secretion in pigs. Page 613. In Digestive Physiology in Pigs. Eur. Assoc. Anim. Prod. Publ. 88. Saint Malo, France.

Kyriazakis I, Whittemore CT. Whittemore's Science and Practice of Pig Production. 3<sup>a</sup> ed. Blackwell publishing, 2006.

Larsen FM, Wilson MN and Moughan PJ. 1994. Dietary fiber viscosity and amino acid digestibility, proteolytic digestive enzyme activity and digestive organ weights in growing rats. J. Nutr. 124: 833-841.

Le Goff G, Van Milgen J, Noblet J. 2002. Influence of dietary fiber on digestible utilization and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows. *Anim. Sci.*74: 503-515

Lin Chen WJ and Anderson JW. 1981. Soluble and insoluble plant fiber in selected cereals and vegetables. *34*: 1077-1082.

López JL. y Méndez L. 2002. Sustitución del pienso B de ceba por subproductos y derivados de la industria azucarera en la alimentación de cerdos en crecimiento. *Rev Prod Anim.* 14(2): 14-16

Lynd LR, Weimer PJ, Van Zyl WH, Pretorius IS. 2002. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiology and Molecular Reviews* 66 (3): 506-577.

McDougall, G.J., I.M. Morrison, D. Stewart, and J.R. Hillman. 1996. Plant cell walls as dietary fibre: Range, structure, processing and function. *J. Sci. Food Agric.* 70:133-150.

Meuner-Salaüm MC, Edwards SA, Robert S. 2001. Effect of dietary fibre on the behavior and health of the restricted fed sows. *Anim. Feed sci. and Tech.* 90: 53-69.

Mingan, Choct. 2007. Role of biotechnology in utilization alternative feed ingredients for monogastrics animal. Publicado 3/16/2007. En la red: [http://www.engormix.com/e\\_articles\\_view.asp?art=397&AREA=BAL-800](http://www.engormix.com/e_articles_view.asp?art=397&AREA=BAL-800).

Noblet J and Le Goff G. 2001. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *Anim. Feed Sci. and tech.* 90: 35-52.

Noblet J. and Perez LM. 1993. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. *J Anim Sci* 71:3389-3398

Nuzback, L.J., D.S. Pollmann, and K.C. Behnke. 1984. Effect of particle size and physical form of sun-cured alfalfa on digestibility for gravid swine. *J. Anim. Sci.* 58:378-385.

Owusu-Asiedu A, Patience J. F, Laarveld B, Van Kessel A. G, Simmins P. H, Zijlstra R. T. 2006. Effects of guar gum and cellulose on digesta passage rate, ileal microbial population, energy and protein digestibility, and performance of grower pigs. *J. Anim. Sci.* 84:843-852.

Prosky, I., N. G. Asp, T. F. Schweizer, J. W. DeVries, and I. Fruda. 1985. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 71:1017-1023.

Prosky, I., N. G. Asp, T. F. Schweizer, J. W. Devires, and I. Fruda. 1988. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 71:1017-1023.

Ramonet Y, Meunier-Salaün MC and Dourmad LY. 1999. High-fiber diets in pregnant sows: digestive utilization and effects on behavior of the animals. *J. Anim. Sci.* 77: 591-599

Ramonet Y, Robert S, Aumaître A, Dourband JY, Meunier-Salaün MC. 2000. Influence of the nature of dietary fibre on digestive utilization, some metabolite and hormone profiles and the behaviour of pregnant sows. *J. Anim. Sci.* 70:275-286

Rentería-Flores J. A, Johnston L. J, Shurson G. C. and Gallaher D. D. 2008. Effect of soluble and insoluble fiber on energy digestibility, nitrogen retention, and fiber digestibility of diets fed to gestating sows. *J. Anim. Sci.* 86: 2568-2575.

Santoma Gerardo. ¿Máximo de fibra en cerdos en cebo? Factores que influyen sobre el rendimiento de canal. Año 1997. XIII Curso de Especialización FEDNA: *Avances en Nutrición y Alimentación Animal*. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Eds.: P.G<sup>a</sup>. Rebollar, C. de Blas y G.G. Mateos. Madrid, España. Páginas 100-131. En la red: [www.etaia.upm.es/fedna/publi.htm](http://www.etaia.upm.es/fedna/publi.htm).

Schoijet GM. 2005. Población y producción de alimentos. Tendencias recientes. *Desarrollo.* 36 (141): 95-205.

Selvendran RR. 1994 The plant cell wall as a source of dietary fiber: Chemistry and structure. *Am. J. Clin. Nutr.* 39: 320- 337

Stein HH, Kim SW, Nielsen TT and Easter RA. 2001. Standardized ileal protein and amino acid digestibility by growing pigs and sows. *J. Anim. Sci.* 79: 2113-2122.

Souffrant, W.B. 2001. Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in the pig. *Anim. Feed Sci. Tech.* 90:93-102.

Southgate. DAT. 1973. Fibre and other unavailable carbohydrates and their effects on the energy values of the diet. *Proc. Nutr. Soc.* 32: 131.

Southgate DAT. 1993. Food components associated with dietary fiber. *Dietary fiber in human nutrition*. Edt. CRC Press, Boca raton, FL., 27.

Thibault JF, Lahaye M, Guillon F. 1992. Physico-chemical properties of food plants cell wall. In Schueizer TF, Edwards CA (Eds). Dietary fibre: A component of food: nutritional function in health and disease. Springer, London, 21-39.

Theander, O. P. Åman, E. Westerlund, and H. Graham. 1994. Enzymatic/chemical analysis of dietary fiber. *J. Assoc. Off. Anal. Chem. Int.* 77:703-709.

Trowell, Hugh. 1976. Definition of dietary fiber and hypotheses that it is a protective factor in certain diseases. *Am. Jour. Clin. Nutr.* 29:417-427.

Trowell, Hugh. 1977. Why a new term for dietary fiber? *Am. Jour. Clin. Nutr.* pp. 1003.

Van Soest, P. J. 1963a. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. I. Preparation of fiber residues of low nitrogen content. *J. A.O.A.C.* 46:825-829.

Van Soest, P. J. 1963b. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II.a rapid method for the determination of fiber and lignin. *J. A. O. A. C.* 46:829-835.

Van Soest, P. J., and R. W. McQueen. 1973. The chemistry and estimation of fibre. *Proc. Nutr. Soc.* 32: 123.

Varel VH and Yen JT. 1997. Microbial Perspective on Fiber Utilization by Swine. *J Anim. Sci.* 75: 2715

Vries RP y Visser J. 2001. Aspergillum enzymes involved in degradation of plant cell wall polysaccharides. *Microbiology and molecular biology Reviews.* 65: 497-522.

Wang JF., Jensen BB., Jorgensen H., Li DF. and Lindberg JE. 2002. Ileal and total digestibility, and protein and fat balance in pigs fed rice with addition of potato starch, sugar beat pulp or wheat bran. *Animal feed Sci. and Tech.* 102; 125-136.

Wyatt, G. M., Horn, N., Gee, J. M. & Johnson, I. T. 1988. Intestinal micro flora and gastrointestinal adaptation in the rat in response to non-digestible dietary polysaccharides. *Br. J. Nutr.* 60: 197-207.

Wenk C. 2001. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Anim. Feed Sci. Technol.* 90:21-33.

Wittaker X, Edwards SA, Spooler HAM, Lawrence AB, Cornings S. 1999. Effects strw bedding and high fiber diets on the behavior of floor fed group-housed sows. *App. Anim. Bea. Sci.* 63:25-39.

Wilfart A, Montage L, Smmins PH, Van Milgen J, Noblet J. 2007. Sites of nutrient digestion in growing pigs: Effect of dietary fiber. *J. Anim. Sci.* 85: 976-983.

Yen J.T. J. A Nienaber. D. A Hill. And W. G. Pound. 1991. Potential contribution of absorbed volatile fatty acids to to whole-animal energy requirement in conscious swine. *J. Anim. Sci.* 69: 2001-2012.

Zebrowska, T., A.G. Low, and H. Zebrowska. 1983. Studies on gastric digestion of protein and carbohydrate, gastric secretion, and exocrine pancreatic secretion in growing pig. *Br. J. Nutr.* 49:401-410.

Zervas S. and Zijlstra R. T. 2002. Effect of dietary protein and oathull fiber on nitrogen excretion patterns and postprandial plasma urea profiles in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 3238-3246.

### **3. HIPÓTESIS**

Dada la diversidad en el origen botánico y en el proceso de obtención de los subproductos y esquilmos agroindustriales, su perfil bromatológico y contenido de fibra será diferente, por lo que la inclusión de estos ingredientes en la dieta de cerdas adultas tendrá diferente efecto sobre el tubo gastrointestinal y por lo tanto, sobre la digestibilidad.

### **4. OBJETIVOS**

Identificar subproductos y esquilmos no tradicionales generados en la zona del bajo mexicano.

Generar la información bromatológica y nutricional suficiente para poder hacer uso de ellos.

Evaluar el impacto que pudiera tener la inclusión de fibra en la dieta de cerdas adultas sobre la digestibilidad de la energía y nitrógeno, usando como fuente principal de fibra algunos de los subproductos y esquilmos identificados.

**5. DISPONIBILIDAD DE INGREDIENTES NO TRADICIONALES CON POTENCIAL DE SER USADOS EN LA ALIMENTACIÓN DE CERDAS GESTANTES EN EL BAJÍO MEXICANO (versión final del resumen aceptado para su publicación en la revista Veterinaria México)**

Edgar David Avilés Ríos \* †

José Antonio Espinosa García \*\* ‡

José Antonio Rentería Flores \*\*

César Augusto Mejía Guadarrama \*\*

Gerardo Mariscal Landín \*\*

José Antonio Cuarón Ibarcúengoytia \*\*

---

\* Posgrado en ciencias de la producción animal. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

\*\* Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología Animal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias

\*† Resultados parciales de tesis de maestría

\*‡ Correspondencia. Dr. José Antonio Espinosa García. Teléfono: 01(419) 292 0249 ext. 217  
[espinosa.jose@inifap.gob.mx](mailto:espinosa.jose@inifap.gob.mx)

\*

\*





UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

REVISTA VETERINARIA MÉXICO



Cd. Universitaria, D. F., 22 de junio de 2009

SR. (ES) DR. (ES)  
EDGAR DAVID AVILÉS RÍOS  
JOSÉ ANTONIO ESPINOSA GARCÍA  
JOSÉ ANTONIO RENTERÍA FLORES  
CÉSAR AUGUSTO MEJÍA GUADARRAMA  
GERARDO MARISCAL LANDÍN  
JOSÉ ANTONIO CUARÓN IBARGÜENGOYTIA

Comunico a usted (es) que su artículo científico titulado:

**Disponibilidad de ingredientes no tradicionales con potencial de ser usados en la alimentación de cerdas gestantes en el Bajío Mexicano**

Artículo científico

Ha sido aceptado por el **Comité Editorial**, para su publicación en la Revista "**Veterinaria México**", órgano oficial de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-UNAM, en el.

Volumen 40 | Número 3

Atentamente

**MVZ. RAYMUNDO MARTÍNEZ PEÑA**  
Coordinador de publicaciones y  
Director y Editor de Revista Veterinaria México

Archivo

RMP\*ggm

## 5.1 Resumen

Para identificar subproductos y desechos agroindustriales existentes en la región del Bajío mexicano, que por su disponibilidad y nivel de producción pudieran ser incorporados en la alimentación de las cerdas gestantes, se integró la información estadística de productos agrícolas que mediante un proceso agroindustrial generan subproductos para consumo pecuario. Se creó un padrón de empresas procesadoras de dichos productos, se diseñó y aplicó una encuesta a una muestra significativa (muestreo de proporciones de varianza máxima) para conocer; las cantidades de materias primas utilizadas, los coeficientes de transformación, la cantidad de subproductos generados y su destino. Con el fin de estimar la disponibilidad futura de estos subproductos se diseñaron modelos de regresión. Los subproductos y desechos identificados como factibles de utilizarse fueron más de veinte. Sin embargo, con base en la oferta y demanda anual de cada uno, los que mostraron un mayor potencial de uso fueron: cascarilla de arroz y salvado de arroz (4,375 ton y 2,905 ton respectivamente), pasta de ajonjolí (entre 14,400 y 28,800 ton), desperdicio de col (1,092 ton), desechos de brócoli (13,400 ton), desechos de coliflor (1,800 ton), desechos de aguacate (4,800 ton) y aceite de palma para fritura (12,000 L). Los de mejor potencial al medir su disponibilidad futura son los desechos de brócoli y coliflor. Para poder aprovechar los subproductos y desechos agroindustriales disponibles en el bajío en la alimentación de la cerda adulta, es necesario determinar las características bromatológicas y nutritivas de éstos, así como su posible impacto sobre la digestibilidad de la energía y proteína en la dieta y en el desempeño productivo de la cerda.

Palabras clave: CERDAS, DIETAS, SUBPRODUCTOS NO TRADICIONALES, OFERTA Y DEMANDA.

## 5.2 Abstract

In order to identify existing agro-industrial by-products in the region of the Mexican “Bajío”, which by their availability and level of production, could be incorporated in the feeding of gestating sows, the statistical information related to the agriculture production and agro-industrial process was integrated, in order to know the by-products generated for livestock feeding. With this information a catalog of companies and by-products was created. A survey was designed and applied to a significant sample (equation of sampling proportions for maximum variance was applied) of these companies, to know the amounts raw materials used, transformation coefficients, and the amount and destiny of generated by-products. To know the future availability of these by-products regression models were designed. The by-products and remainders that were identified as feasible to be used for feeding gestating sows are more than twenty. However, on the basis of the supply and demand of each by-product, the ones that have potential to be used in feeding gestating sows are the following ones: rice husk (4.375 ton annual), saved of rice (2.905 ton annual), sesame meal (between 14.400 and 28.800 ton annually), cabbage remainders (1.092 ton annual), broccoli and cauliflower remainders (annual 13.400 and 1.800 ton respectively), avocado remainders (4.800 ton annual) and palm oil for frying process of nuts (12.000 annual L). From these by-products those that may have the greater potential in the future are the remainders of broccoli and cauliflower. In spite of the amount of by-products and agro-industrial remainders available in the region, and the fact that several of those are already being used in livestock feeding, in order to include those by-products and agro-industrial remainders in gestating sow diets, it is necessary to determine their nutritional characteristics, as well as its possible impact on the diet digestibility, and sow performance.

Key words: SOW, FEEDING, BY-PRODUCTS AND REMAINDERS, SUPPLY AND DEMAND.

### 5.3 Introducción

La región del Bajío mexicano es una zona importante para los sectores agrícola y pecuario del país, lo que ha dado pie al crecimiento de la agroindustria, actividad fundamental para el desarrollo del sector primario. Algunas de estas agroindustrias generan subproductos y desechos, los cuales han sido llamados ingredientes no tradicionales, los cuales pudieran ser utilizados en la alimentación animal, y en específico en la cerda reproductora.

Por su parte la actividad porcina es de suma importancia para el Bajío. En 2004, la producción de carne de cerdo en canal de los estados de Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Querétaro correspondió al 35% de la producción nacional<sup>1</sup>.

En México, la gran mayoría de las dietas para cerdos se formulan con base en la combinación de sorgo o maíz con pasta de soya. Schoijet<sup>2</sup>, en el 2005, informó que en México se destinó 45% del grano disponible para la alimentación de animales. Este es un indicativo de la competencia entre el humano y los animales por los granos básicos, como el maíz. Dadas las presiones para satisfacer las necesidades nutrimentales de los humanos, y el alto precio de la pasta de soya (ingrediente ampliamente utilizado en la nutrición animal y humana), los porcicultores se ven obligados a buscar ingredientes alternativos para la alimentación de los cerdos<sup>3</sup>.

Aunque la inclusión de ingredientes no tradicionales en la formulación de alimentos balanceados para cerdos no es una práctica común en México, la búsqueda de modelos productivos sustentables de carne de cerdo y la tendencia a disminuir la competencia entre el humano y los animales ha aumentado el interés por identificar y caracterizar nuevas fuentes de alimento generados localmente<sup>4,5,6,7</sup> como opciones para la alimentación de los cerdos en algunos países donde la autosuficiencia alimentaria no se ha alcanzado.

En general, los ingredientes no tradicionales se caracterizan por tener un alto contenido de fibra, principal limitante para su uso como alimento en cerdos, debido a que la inclusión elevada de fibra, ocasiona una dilución de nutrimentos en la ración, además de limitar la cantidad de alimento que el animal puede ingerir y la digestibilidad de varios nutrientes<sup>8</sup>. Sin embargo, por lo que se sabe hasta el momento, el tubo digestivo posterior del cerdo es capaz de proporcionar el medio adecuado para la fermentación de la fibra, a través de la microbiota del ciego y colon<sup>9</sup>, especialmente en cerdas adultas. Lo anterior indica la posibilidad de uso de ingredientes no tradicionales en la alimentación de la cerda, siempre y cuando, se genere la información bromatológica y nutricional necesaria para hacer uso adecuado de estos ingredientes para no afectar el potencial productivo de los cerdos. Cabe mencionar que la información disponible de estos ingredientes no tradicionales es limitada, sobre todo si se analiza su disponibilidad e impacto sobre la digestibilidad.

Existe una diferencia significativa en la habilidad para fermentar fibra entre cerdos de diferente edad, ya que la digestibilidad de dietas altas en fibra se incrementa con el peso y edad del animal, debido probablemente a un mayor tamaño del ciego y colon, y por consecuencia, un mayor tiempo de retención de la digesta en estos segmentos<sup>10</sup>. La cerda gestante ha demostrado una mayor capacidad para digerir dietas altas en fibra, en comparación con cerdos en crecimiento<sup>11</sup>. Aunado a ello, la demanda nutricional y energética de las cerdas gestantes son las más bajas, si se les compara con las de cerdos en crecimiento y la cerda en lactación<sup>12</sup>, razón por la cual están limitadas a un consumo aproximado de 2.5 kg al día de una dieta concentrada<sup>13</sup>, lo que equivale a un 50-60% de su consumo voluntario, con la finalidad de evitar ganancias de peso y de grasa corporal excesivas cubriéndose únicamente los requerimientos de mantenimiento y para la ganancia de los tejidos de la gestación<sup>14</sup> (productos, membranas embrionarias y sus fluidos). La restricción en el consumo de las cerdas gestantes contribuye a la presentación de estereotipos.<sup>15</sup>

La inclusión de ingredientes fibrosos en la dieta de animales restringidos va a diluir la concentración energética de dicha dieta pero no afectará el consumo diario óptimo de energía permitiendo ofrecer un mayor volumen de alimento a estos animales, esto siempre y cuando se tome en cuenta el posible efecto de la fibra sobre la digestibilidad de la dieta<sup>16</sup>. Se ha observado que la inclusión de ingredientes fibrosos reduce la presentación de estereotipos, contribuyendo al bienestar del animal <sup>17,18</sup>.

Como primer paso para poder hacer uso de estos ingredientes no tradicionales es necesario conocer su oferta y posible demanda, para determinar su disponibilidad real. El objetivo de este estudio fue identificar algunos subproductos y desechos agroindustriales existentes en cuatro estados del Bajío mexicano, que por su nivel de producción y disponibilidad pudieran ser incorporados a la alimentación de las cerdas gestantes.

#### **5.4 Materiales y Método**

El trabajo se circunscribió a los estados de Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Querétaro ubicados en la región del Bajío, México.

Para cumplir con el objetivo planteado se integró un directorio con las agroindustrias ubicadas en la zona del Bajío, en el que se registró nombre, dirección, teléfono, correo electrónico y actividad desarrollada de cada una de ellas. Dicha información se recopiló de catálogos industriales comerciales publicados en Internet, páginas web del gobierno de cada estado y a través del contacto directo con empresas líderes. Todas las empresas que integraron el directorio generan subproductos o desechos a partir del procesamiento de insumos de origen agrícola.

Se diseñó y aplicó una encuesta. El tamaño de la muestra se calculó aplicando la ecuación de Muestreo de propiedades de varianza máxima ( $p=0.5$ ;  $q=0.5$ ;  $\beta=0.1$  y  $Z_{1-\alpha}=0.98$ ) para tamaño de poblaciones conocidas<sup>19</sup>, con la siguiente formula:

$$n = \frac{N p (1 - q)}{(N - 1) \left( \frac{\beta}{Z_{1-\alpha}} \right)^2 + p (1 - q)}$$

Donde:

$n$ = tamaño de la muestra

$N$ = población total

$p$ = respuesta de una variable binominal

$q$ = respuesta 2 de una variable binominal

$\beta$ = precisión en porcentaje

$Z_{1-\alpha}$ = valor de confiabilidad

La información capturada en la encuesta consistió en: características generales, insumos utilizados, volumen y tipo de productos y subproductos generados, demanda de éstos, características del proceso productivo y el índice de extracción, definido como la proporción de subproducto o desecho que se genera por unidad de materia prima procesada. Cada subproducto o desecho identificado fue muestreado para análisis posteriores.

Las empresas identificadas se clasificaron por actividad en cuatro grupos: 1) Industria productora de bebidas alcohólicas; 2) Industria procesadora de granos y semillas; 3) Industria procesadora de vegetales para el consumo humano y 4) Industria procesadora de oleaginosas. A su vez, las empresas de cada grupo fueron subdivididas con base en el insumo utilizado y en las características del subproducto o desecho generado, esto con la finalidad de obtener un tamaño de muestra que fuera representativa por cada uno de ellos.

La información fue capturada en hojas de Excel y se analizó utilizando el paquete Statistics Program for Social Science Versión 11.5 calculándose promedios, frecuencias y análisis de regresión.

La disponibilidad real de cada subproducto o desecho se calculó restando el promedio de la demanda anual al promedio de la producción anual de cada subproducto o desecho identificado. La disponibilidad futura se calculó con base en la estimación de la producción promedio anual del insumo utilizado, para ello se diseñó un modelo de regresión univariante, en la cual la variable independiente fue el año y la variable dependiente fue la producción anual del producto agrícola utilizado. La base de datos se formó con la producción anual de los últimos 26 años (1980-2005). Se hizo una predicción de la producción a 10 años (2010-2020). A partir de los datos obtenidos, se calculó la disponibilidad futura multiplicando la producción anual estimada por el índice de extracción, menos la demanda actual.

El total de empresas identificadas y el subproducto o desecho que generan así como el número de empresas encuestadas se presentan en el Cuadro 5.4.1. Se encuestaron nueve empresas que procesan granos y semillas: cuatro dedicadas a procesar trigo, Harinera Pirineos SA de CV (La Moderna), Molinera de México SA de CV (GRUMA), Harinera Queretana SA de CV y Harinera Parayas SA de CV; Una procesadora de arroz, Arrocera de Occidente SA de CV; dos industrializadoras de maíz, Industrializadora de Maíz SA de CV y MINSA SA de CV y dos empresas que procesan cacahuate, SECAMEX SA de CV y Productos GONDI SA de CV. Cinco empresas procesadoras de vegetales para consumo humano: cuatro que procesan hortalizas, APEX congelados SA, Mar Bran SA, Gigante Verde S en NC de CV y Lavin-Sagui SA y dos de frutas, Congeladora y Empacadora Nacional SA de CV y Gerber Holdings de México SA de CV. Dos empresas dedicadas al proceso de granos de oleaginosas, SESAJAL SA de SV y TRON Hermanos SA de SV y una empresa dedicada a la producción de bebidas alcohólicas, Freixenet de México SA de CV.

CUADRO 5.4.1 TOTAL DE EMPRESAS IDENTIFICADAS, DIVIDIDAS POR ACTIVIDAD Y EL TIPO DE SUBPRODUCTO O DESECHO QUE GENERAN

<i>Grupos de empresas</i>	<i># de empresas</i>	<i># de muestras</i>
<i>• subdivisión por tipo de subproducto</i>		
Bebidas alcohólicas		
• bagazo de uva	2	1
Granos y semillas		
• cáscara y desperdicio de fritura de cacahuete	2	2
• subproductos del trigo	22	4
• subproductos del arroz	1	1
• subproductos de maíz	6	2
Procesadoras de vegetales para consumo humano		
• desecho de hortalizas y aguacate	18	4
• bagazo de frutas	2	1
Procesadoras de oleaginosas		
• subproductos de la extracción de aceite vegetal	7	2
TOTAL	60	17

## 5.5 Resultados

Oferta y localización de los subproductos o desechos identificados

Se identificaron y muestrearon subproductos derivados del arroz (*Oriza sativa*): cascarilla, salvado, granillo y ½ grano; derivados del trigo (*triticum aestivum*): salvado, acemite, salvadillo, granillo y germen; derivados del cacahuete (*Arachis hypogaea*): cascarilla y desperdicio de fritura y tostado de cacahuete y semillas para botana; cascarilla y gluten de maíz (*Zea mays*) y subproductos derivados de granos de oleaginosas: pasta de ajonjolí (*Sesamum indicum*); pasta de cártamo (*Carhtamus tinctorius*) y pasta de canola (*Brassica napus*). También se identificaron y muestrearon desechos derivados del procesamiento de las siguientes hortalizas y frutas: brócoli (*Brassica oleracea italica*), coliflor (*Brassica oleracea botrytis*), col (*Brassica oleracea viridis*), lechuga (*Lactuca sativa var capitata*), aguacate (*Persea americana*), uva (*Vitis spp*) y manzana (*Malus rosaceae var. Golden delitius*).

### *Empresas procesadoras de granos y semillas*

Cada una de las empresas encuestadas dedicadas a la industrialización del trigo procesan anualmente en promedio 88 000 ton de trigo, los volúmenes de los subproductos generados se resumen en el Cuadro 5.5.1. En el país existen siete cámaras y representaciones de la industria molinera nacional que agrupan a un total de 97 molinos de trigo. En la zona del Bajío, la industria harinera de trigo está enmarcada en dos de estas cámaras industriales: la Cámara de la Industria Harinera del Centro y el Comité de Molineros de Trigo del estado de Jalisco. Estas dos agrupaciones suman un total de 29 molinos (22 y 7 molinos respectivamente). Con base en la información obtenida de las empresas encuestadas se puede asumir que en la zona del bajío se procesan anualmente un promedio de 2 552 000 ton de trigo y se generan 389 180 ton de salvado, 195 738 ton de acemite, 82 940 ton de salvadillo y 25 520 ton de granillo (Cuadro 5.5.1).

**CUADRO 5.5.1 CONSUMO ANUAL DE TRIGO, PRODUCCIÓN DE HARINA Y GENERACIÓN DE SUBPRODUCTOS DERIVADOS DEL TRIGO POR EMPRESA ENCUESTADA (MILES DE TON)**

<i>Empresa</i>	<i>Insumo anual</i>	<i>Subproductos generados</i>			
		<i>Salvado</i>	<i>Acemite</i>	<i>Salvadillo</i>	<i>Granillo</i>
Índice de extracción <sup>a</sup>		0.15	0.07	0.03	0.01
Pirineos	150.0	22.8	11.5	4.9	1.5
Molinera de México	103.0	15.7	7.9	3.3	1.0
Queretana	55.0	8.4	4.2	1.8	0.5
Parayas	44.0	6.7	3.4	1.4	0.4
Producción anual promedio	88.0	13.4	6.7	2.9	0.9
Error estándar	48.6	7.4	3.7	1.6	0.5
<b>Agrupación</b>	<b>insumo<sup>b</sup></b>	<b>salvado<sup>c</sup></b>	<b>Acemite<sup>c</sup></b>	<b>salvadillo<sup>c</sup></b>	<b>granillo<sup>c</sup></b>
Industria Harinera del centro 22 molinos asociados	1 936.0	295.2	148.5	62.9	19.3
Molineros de trigo del estado de Jalisco 7 molinos asociados	616.0	93.9	47.2	20.0	6.2
<b>Total</b>	<b>2 552.0</b>	<b>389.1</b>	<b>195.7</b>	<b>82.9</b>	<b>25.5</b>

<sup>a</sup> Proporción del subproducto extraído por unidad de insumo procesado, obtenido de las

encuestas; <sup>b</sup> Molinos asociados por el insumo anual promedio, <sup>c</sup> Molinos asociados por el promedio anual de producción del subproducto.

La empresa Arrocera de Occidente SA de CV en el periodo 2000-2006 procesó en promedio 17 429.6 ton anuales de arroz. Los índices de extracción para la cascarilla, salvado granillo y  $\frac{1}{2}$  grano fueron 0.1, 0.15, 0.15 y 0.1, respectivamente. En promedio al año se generaron 2 614.3 ton de cascarilla, 1 742.9 ton de salvado, 1 742.9 ton de granillo y 2 614.3 ton de  $\frac{1}{2}$  grano. Según información proporcionada por Arrocera de Occidente SA de CV, ellos participan con 30% de la oferta de subproductos en la zona, la empresa Verde Valle aporta 40% y el 30% restante lo proviene de empresas menores. Por lo tanto, se estima que la oferta total de subproductos derivados del arroz en la zona para los años 2000 al 2006 fue de 8 714.3 ton de cascarilla, 5 809.5 ton de salvado, 5 809.5 ton de granillo y 8 714.3 ton de  $\frac{1}{2}$  grano.

Tres empresas se dedican al procesamiento del grano de maíz. Industrializadora de Maíz SA de CV, tiene un consumo promedio anual de 101 856 ton de maíz y genera 21 481.4 ton de cascarilla, 722.5 ton de gluten y 937.1 ton de germen. MINSA SA de CV genera un desecho líquido derivado del proceso de nixtamalización llamado "nejayote".

SECAMEX SA de CV genera cáscara de cacahuate como subproducto y anualmente produce, en promedio, 150 ton. Productos GONDI SA de CV, genera anualmente 22 ton de desechos sólidos (tostado y fritura de cacahuate y otras semillas para botana) y 12 000 litros de aceite de palma usado en la fritura de sus productos.

#### *Empresas procesadoras de oleaginosas*

TRON Hermanos SA de CV procesa anualmente 60 000 ton de canola generando 48 000 ton de pasta de este insumo. También procesa alrededor de

6 500 ton de cártamo, generando 4 495 ton de pasta de cártamo como subproducto.

SESAJAL SA de CV procesa anualmente 96 000 ton de ajonjolí. Tiene un subproducto que es la pasta de ajonjolí tostada, con dos presentaciones según la cantidad de proteína que contenga (20% y 45% PC) que en conjunto suman anualmente 48 000 ton de subproducto.

*Empresas que procesan vegetales para consumo humano*

Las empresas APEX congelados SA, Mar Bran SA y Gigante Verde S en NC de CV, tienen como principal insumo (en cuanto a volumen procesado) el brócoli. En promedio, cada empresa consume anualmente 37 834.9 ton de brócoli y a partir de ellas se generan 5 675.2 ton de desecho. En segundo lugar de importancia, procesan la coliflor con un promedio anual de 11 217.4 ton y tienen un desecho 2 972.6 ton anuales (Cuadro 5.5.2). En estas cifras no se incluyen datos de Gigante Verde S en NC de CV.

CUADRO 5.5.2 CONSUMO Y PRODUCCIÓN DE DESPERDICIO DE BRÓCOLI Y COLIFLOR DE LAS EMPRESAS APEX Y MAR BRAN (TON) <sup>a</sup>

<i>Empresa</i>	<i>Pata de brócoli</i>		<i>Recorte de coliflor</i>	
	<i>Insumo Anual</i>	<i>Desecho anual</i>	<i>Insumo Anual</i>	<i>Desecho anual</i>
Índice de extracción <sup>b</sup>		0.15		0.26
APEX	35 743.5	5 361.5	6 591.0	1 746.6
MARBRAN	39 926.2	5 988.9	15 843.7	4 198.6
Promedio	37 834.9	5 675.2	11 217.4	2 972.6
DS	2 957.6	443.6	6 542.7	1 733.8

<sup>a</sup> La empresa Gigante Verde S en NC de CV es dato nulo, <sup>b</sup> Índices de extracción como proporción de desecho extraído por unidad de insumo procesado, promedio de las empresas encuestadas

Lavin-Sagui SA, que consume 2 400 ton anuales de col y 144 ton anuales de lechuga, genera 1 560 y 93.6 ton de desperdicio, respectivamente.

Congeladora y Empacadora Nacional SA de CV procesa anualmente un promedio de 12 000 ton de aguacate y genera un total de 4 800 ton de desecho. Gerber Holdings de México SA de CV generó en 2005, 132 ton de bagazo de manzana.

#### *Empresas productoras de bebidas alcohólicas*

Freixenet de México SA de CV consume, para la producción de vino, 650 ton uva blanca y 200 ton de uva tinta, de diferentes variedades, generando 97.5 ton de bagazo de uva blanca y 30 ton de uva roja, por temporada de cosecha.

Disponibilidad de los subproductos y desechos identificados

#### *Disponibilidad real*

En el Cuadro 5.5.3 se resume la oferta anual de cada subproducto identificado, la demanda promedio anual propuesta por la empresa que lo generó y la disponibilidad real calculada. No se presentan datos de aquellos subproductos que se destinan al consumo humano para evitar crear una competencia por el recurso.

CUADRO 5.5.3 OFERTA, DEMANDA Y DISPONIBILIDAD ACTUAL ANUAL DE LOS SUBPRODUCTOS IDENTIFICADOS (TON)

<i>Subproducto</i>	<i>Oferta</i>	<i>Demanda %</i>	<i>Disponibilidad</i>
Salvado/trigo	389 180	99 <sup>a</sup>	3 892
Asemite/trigo	195 738	99 <sup>a</sup>	1 957
Salvadillo/trigo	82 940	99 <sup>a</sup>	829
Granillo/trigo	25 520	99 <sup>a</sup>	255
Cascarilla/arroz	8 714	50	4 357
Salvado/arroz	5 809	50	2 905
Granillo/arroz	5 809	consumo humano <sup>b</sup>	SND <sup>c</sup>
½ Grano/arroz	8 714	consumo humano <sup>b</sup>	SND <sup>c</sup>
Cascarilla/maíz	21 481	99 <sup>a</sup>	215
Gluten/maíz	6 722	99 <sup>a</sup>	7
Germen/maíz	937	99 <sup>a</sup>	9
Desperdicio/fritura	22	50	11
Cáscara/cacahuate	150	99 <sup>a</sup>	2
Aceite/fritura	12 000	no tiene demanda	12 000
Nejayote/maíz	IND <sup>d</sup>	no tiene demanda	IND <sup>d</sup>
Pasta base/ajonjolí	48 000	40-70	14 400-28 800
Pasta/cártamo	4 495	99 <sup>a</sup>	4
Pasta/canola	35 100	99 <sup>a</sup>	35
Desecho/brócoli	26 800	50	13 400
Desecho/coliflor	3 600	50	1 800
Desecho/aguacate	4 800	no tiene demanda	4 800
Desecho/col	1 560	30	1 092
Desecho/lechuga	93	30	66
Bagazo de manzana	4 800	IND <sup>d</sup>	IND <sup>d</sup>
Bagazo de uva	127	100	0.00

<sup>a</sup> la demanda disminuye en temporada de lluvias, <sup>b</sup> los subproductos de consumo humano no se contemplarán para evitar competencia por el recurso, <sup>c</sup> SND, subproducto no disponible, <sup>d</sup> IND, información no disponible, no proporcionada por las empresas

### Disponibilidad futura

Se estimó la disponibilidad a futuro de los desecho de brócoli y de la coliflor. En el Cuadro 5.5.4 se muestra la producción anual estimada del brócoli y la coliflor de los próximos 10 años (2010-2020) y el volumen del desecho que puede ser generado a partir de la producción estimada por las empresas que procesan estos productos agrícolas.

CUADRO 5.5.4 PRODUCCIÓN ANUAL ESTIMADA DE BRÓCOLI Y COLIFLOR PARA LOS ESTADOS DE GUANAJUATO, JALISCO, MICHOACÁN Y QUERÉTARO Y DISPONIBILIDAD ESPERADA PARA LOS SIGUIENTES 10 AÑOS EN LA ZONA DEL BAJÍO MEXICANO (2010-2020)

Año	Brócoli		Coliflor	
	Producción anual estimada <sup>a</sup> (ton)	Disponibilidad estimada <sup>b</sup> (ton)	Producción anual estimada <sup>c</sup> (ton)	Disponibilidad estimada <sup>d</sup> (ton)
2010	327 191	17 178	36 859	940
2011	339 350	17 816	37 714	962
2012	351 582	18 458	38 568	983
2013	363 885	19 104	39 422	1 005
2014	376 260	19 754	40 277	1 027
2015	388 707	20 407	41 131	1 049
2016	401 226	21 064	41 986	1 071
2017	413 818	21 725	42 840	1 092
2018	426 481	22 390	43 694	1 114
2019	439 216	23 059	44 549	1 136
2020	452 024	23 731	45 403	1 158
promedio	364 557	19 139	39 422	1 005
DS	55 186	2 897	3 821	97

<sup>a</sup> Estimado usando la función  $-14007.6 + 9889.8x - 39.02x^2$ ;  $r^2 = 0.931$ ; <sup>b</sup> 70% de la producción se destina al procesamiento, índice de extracción del desecho 0.15 y demanda anual actual del 50%; <sup>c</sup> Estimado usando la función  $-1680374.4 + 854.3x$ ,  $r^2 = 0.411$ ; <sup>d</sup> 20% se destina al procesamiento, índice de extracción del desecho 0.265 y demanda anual actual del 50%

## 5.6 Discusión

Se identificaron 25 subproductos o desechos, generados por empresas procesadoras de productos agrícolas ubicadas en la zona del Bajío.

Con base en su disponibilidad actual, los ingredientes no tradicionales identificados más abundantes son: la pasta de ajonjolí tostada, el desecho de brócoli, desecho del aceite de fritura, desecho de aguacate, cascarilla de arroz, salvado de arroz, desecho de col, desecho de coliflor.

Para los subproductos derivados del trigo la demanda de estos es casi igual a la oferta por lo que su disponibilidad es muy baja. Sin embargo, debido a que los volúmenes en los que se genera son los más elevados de todos los subproductos identificados los hace unos subproductos de importancia. La cascarilla de maíz tampoco presenta una disponibilidad alta debido a su gran demanda. Sin embargo, como únicamente se identificó a una empresa en la zona delimitada, los datos obtenidos pueden ser poco representativos.

Los subproductos y desechos con menor disponibilidad son el salvadillo de trigo, granillo de trigo, germen de maíz, desperdicio de fritura, cascarilla de cacahuate, desecho de lechuga, desecho de manzana y el bagazo de uva.

Se debe tener presente que el cálculo de la disponibilidad de los subproductos y desechos se basó en los datos obtenidos a partir de las encuestas aplicadas a cada una de las empresas mencionadas. Así, la oferta de los subproductos o desechos puede variar en la medida en que dichas empresas modifiquen su proceso (tecnología, calidad y grado de aprovechamiento de los insumos o exigencias del mercado).

En la proyección a futuro se calcula que la producción de brócoli y coliflor para los siguientes 10 años (2010-2020) tendrá un crecimiento anual promedio de 3.1% para el brócoli y 2.2% para la coliflor, por lo que se espera que la generación de desperdicios de ambos insumos se eleve en la misma proporción.

Con base en los datos obtenidos de las encuestas, no fue posible calcular la disponibilidad futura de los demás ingredientes no tradicionales identificados. Pero debido a que la mayoría de estos se generan durante el proceso de obtención de productos de consumo humano de uso cotidiano como harina de trigo, arroz, edulcorantes y almidones, aceites comestibles, bebidas alcohólicas y alimento procesado para bebé, entre otros, se puede esperar que, en un escenario favorable, la producción de estas empresas se incremente y con ello la generación de los subproductos y desechos. Dos factores impidieron que se estimara la disponibilidad futura del resto de los subproductos o desechos identificados: a) los elevados volúmenes de importación de la materia prima, como Arrocera de occidente, que importa el 40% del insumo que procesa y SESAJAL que sus volúmenes de importación alcanzan el 90%; y b) los volúmenes utilizados de materia prima de origen nacional no tienen un impacto importante sobre el volumen de producción regional, por lo que hacer una predicción en base a la información obtenida no sería significativo.

#### *Factores que afectan la disponibilidad de los subproductos o desechos identificados*

La época del año influye sobre la disponibilidad de los ingredientes no tradicionales identificados. Según las encuestas aplicadas, el factor que más influye es la temporada de lluvias, relacionada con la abundancia y gran disponibilidad de forrajes lo que ocasiona que la demanda de los subproductos y desechos se reduzca, debido a que estos recursos son usados principalmente en la alimentación de rumiantes.

Otro factor importante es el ciclo de cultivo, especialmente en la de los desechos de brócoli y coliflor, ya que, en nuestro país, el ciclo otoño-invierno es más productivo para el brócoli en comparación con el ciclo primavera-verano. En el periodo 2000/2005, en el ciclo otoño-invierno hubo una producción anual promedio de 139 841 ton producidas, 15.4% mayor en comparación con el ciclo

primavera-verano, con un rendimiento de 14 ton/ha, 14.7% mayor. En cuanto a la coliflor sucede lo contrario; para el periodo 2000/2005, el ciclo primavera-verano fue 5% más eficiente con un rendimiento anual promedio de 20 ton/ha y un volumen de producción 30% mayor, equivalente a 36 256 ton anuales en promedio, con respecto al ciclo otoño-invierno<sup>2</sup>. Este resultado influirá principalmente en el volumen total que se procesa y, por lo tanto, sobre la cantidad de desperdicio generado.

La disponibilidad del desperdicio de aguacate a través del año está delimitada por la época de cosecha, ya que solo de octubre a mayo se recolecta el aguacate que es procesado por la empresa Congeladora y Empacadora Nacional SA de CV, por lo que de junio a septiembre no está disponible este desecho.

La demanda de los subproductos derivados del procesamiento de oleaginosas como las pastas de cártamo, canola y en especial de ajonjolí, se ve afectada por la variación en el precio en el mercado de la pasta de soya. Debido a que todos estos subproductos tienen características similares en su composición, para mantenerlos y ofrecerlos como una opción ventajosa los productores de las pasas de cártamo, canola y ajonjolí tratan de fijar el precio de sus subproductos por debajo del precio de la pasta de soya.

*Características de los subproductos y desechos que pudieran limitar su uso como alimento.*

Con algunas excepciones, se carece de información suficiente sobre la composición química y nutrimental de los subproductos y desechos identificados, por lo que su uso en estos momentos es muy limitado, al menos en animales monogástricos.

Se sabe que la cascarilla de arroz tiene un alto contenido de fibra, en tablas para rumiantes<sup>20</sup> la cascarilla de arroz contiene 68.7% de FDN y solo 12% de

total de nutrientes digestibles. Además también puede contener alrededor del 24% de sílice e impurezas inorgánicas (cenizas) <sup>21</sup>, además de que posee características abrasivas y resistentes a la digestión y fermentación por lo que se ha limitado su uso debido a una baja digestibilidad.

Por su origen, los desechos de brócoli y coliflor al estar compuestos de tallos, troncos y hojas, se espera que aporten un alta cantidad de fibra por unidad de materia seca, pero se debe tener en cuenta que al ser un desecho de vegetales frescos, éstos presentan un alto contenido de humedad, 112.7 y 83.9 g/kg de materia seca para el brócoli y la coliflor <sup>22</sup>, respectivamente, lo que puede acarrear problemas para su manejo, almacenamiento y conservación.

De los desechos disponibles con menos potencial aparente como alimento para cerdas son el “nejayote”, el cual, a pesar de que no se cuenta con la composición exacta, puede contener elementos solubilizados del maíz, grandes cantidades de cal y compuestos azufrados (que son añadidos durante el proceso), todo esto diluido en agua <sup>23</sup> por lo que no se espera que contenga nutrientes o fibra en cantidades importantes. De la misma forma, el desecho de aguacate al estar compuesto por la cáscara y semilla, se espera poco de él como alimento por ser limitado en nutrientes, además de ser un desecho difícil de manejar debido a sus características físicas.

## **5.7 Conclusión y recomendaciones**

En la zona del Bajío mexicano existe una gran variedad de subproductos y desechos agroindustriales. Algunos de ellos ya cuentan con una gran demanda y están siendo utilizados en la alimentación de animales en producción. Entre los subproductos más utilizados podemos resaltar a los subproductos del trigo y del maíz, así como las pastas de canola y de cártamo.

Los ingredientes no tradicionales identificados disponibles y que se espera tengan buen aporte de nutrientes y fibra son pasta de ajonjolí tostada, desecho de brócoli y desecho de coliflor.

Aunque muchos de los subproductos identificados son generados en cantidades elevadas y presumiblemente tienen aportes de fibra considerables, antes de poder hacer recomendaciones de su uso como ingredientes no tradicionales es necesario generar la información de sus características bromatológicas y nutritivas para la correcta utilización de cada uno de estos ingredientes. En especial las características de la fibra dietaria que contienen cada uno de ellos, además de estudiar el impacto de la inclusión de estos ingredientes sobre la digestibilidad de los nutrientes de la dieta y su impacto sobre la producción de la cerda.

Estos últimos puntos se abordan en la segunda etapa de este trabajo experimental y los resultados serán publicados a la brevedad posible para complementar la información contenida en el presente artículo.

## 5.8 Literatura citada

1. SIACON [2006]. Sistema de información Agroalimentaria y Pecuaria, SAGARPA. Disponible en: [www.sagarpa.gob.mx/siacon](http://www.sagarpa.gob.mx/siacon)
2. Schoijet GM. Población y producción de alimentos. Tendencias recientes. Desarrollo. 2005; 36 (141): 95-205
3. Varel VH, Yen JT. Microbial Perspective on Fiber Utilization by Swine. J Anim Sci 1997, 75: 2715
4. García C, González J, Escobar A. Efectos del nivel de incorporación del follaje deshidratado de batata (*Ipomoea batatas*) en raciones para cerdas gestantes y lactantes sobre el comportamiento productivo y reproductivo. Arch Latinoam Prod Anim 1997, 5 (Supl 1): 285-287
5. Corzo M, Salgado V, Bravo M, Román R. Efecto de diferentes niveles de restricción de alimento balanceado sobre el consumo de Auyama (*Cucurbita maxima*) y el comportamiento productivo en cerdos en la etapa de engorde. Revista Científica. 2004; 14(5): 419-423.
6. López JL, Méndez L. Sustitución del pienso B de ceba por subproductos y derivados de la industria azucarera en la alimentación de cerdos en crecimiento. Rev Prod Anim. 2002; 14(2): 14-16
7. López N, Chicco C, Godoy S. Valor nutritivo del afrecho y germen desgrasado de maíz en la alimentación de cerdos Zootecnia Trop 2003; 2: 219-235.
8. Santoma Gerardo. ¿Máximo de fibra en cerdos en cebo? Factores que influyen sobre el rendimiento de canal. Avances en nutrición y alimentación animal. XIII curso de especialización FEDNA; 2007 noviembre 6-7; Madrid, España. Páginas 100-131
9. Kyriazakis I, Whittemore CT. Whittemore's Science and Practice of Pig Production. 3ª ed. Blackwell publishing, 2006.
10. Le Goff G, Van Milgen J, Noblet J. Influence of dietary fiber on digestive utilization and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows. Anim Sci 2002; 74: 503-515
11. Ramomet Y, Meurnier-Salaün MC, Dourmand JY. High-Fiber diets in pregnant sows: Digestive Utilization and effects on the behavior of the animals. J Anim Sci 1999; 77:591-599

12. NRC. Nutrients Requirements of Swine. 10th revised. Washington DC. National Research Council, 1998.
13. Ramonet Y, Robert S, Aumaître A, Dourband JY, Meunier-Salaün MC. Influence of the nature of dietary fibre on digestive utilization, some metabolite and hormone profiles and the behaviour of pregnant sows. *J. Anim. Sci.* 2000, 70:275-286
14. Novlet J, Dourmad JY, Etienne M. Energy utilization in pregnant and lactating sows: Modeling of energy requirements. *J Anim Sci* 1990; 68:562-572
15. Vieulle-Thomas C, Le Pape G, Signoret JP. Stereotypes in pregnant sows: indications of influence of the housing system on the patterns expressed by the animals. *App Anim Behav Sci.* 1995; 44: 19-27.
16. Renteria-Flores JA, Johnson LJ, Shurson GC, Moser RL, Webel SK. Effect of soluble and insoluble dietary fiber on embryo survival and sow performance. *J Anim Csi* 2008; 86:2576-2584.
17. Robert S, Bergeron E, Farmer C, Meurnier-Salaün MC. Does the Number of Daily Meals Affect Feeding Motivation and Behavior of Gilts Feed High-Fibre Diets? *App Anim Behav Sci* 2002; 76: 105-117.
18. Bach Knudsen KE. The nutritional significance of “dietary fiber” analysis. *Anim. Feed Sci Technol* 2001; 90:3-20.
19. Zárata S. Métodos estadísticos. Un enfoque interdisciplinario. México DF. Trillas, 1990.
20. NRC. Beef Cattle 7th edition Washington DC. National Research Council, 1996
21. Treviño CB, Gomez FI. Obtención y caracterización de carburo y nitriuro de silicio a partir de cascarilla de arroz. *Ingenierias*, 2003;6(19): 21-27
22. Bourquin LD, Titgemeyer EC, Fahey GC. Vegetable fiber fermentation by human fecal bacteria: cell wall polysaccharide disappearance and fermentation and water-holding capacity of unfermented residues. *J Nutrition* 1993; 123:860-869.
23. Bello PL, Osorio DP, Agama AE, Nuñez SC, Paredes LO. Propiedades químicas, físicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. *Agrociencia* 2002; 36: 319-328.

**6. EFECTO DEL NIVEL DE FIBRA EN LA DIETA SOBRE LA DIGESTIBILIDAD DE LA ENERGÍA Y EL NITRÓGENO EN CERDAS GESTANTES (resumen próximo a enviarse a revisión para su publicación)**

Edgar David Avilés Ríos \* †

César Augusto Mejía Guadarrama \*\* ‡

José Antonio Rentería Flores \*\*

Gerardo Mariscal Landín \*\*

---

\* Posgrado en ciencias de la producción animal. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

\*\* Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología Animal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias

† Resultados parciales de tesis de maestría

‡ Correspondencia. Dr. Cesar Augusto Mejía Guadarrama. [mejia.cesar@inifap.gob.mx](mailto:mejia.cesar@inifap.gob.mx)

## 6.1 Introducción

El ciego y colon del cerdo tienen características anatómicas (Kyriazakis y Whittemore, 2006) y microbiológicas (Wenk C. 2001) que le permiten fermentar la fibra dietaria (Back Knudsen. 2001) generando como residuos ácidos grasos volátiles (AGVS) (Varel y Yen, 1997) que al ser absorbidos pueden contribuir con un 5 a 28% de la energía de mantenimiento para el cerdo (Varel *et al.*, 1987).

La cerda gestante tiene los requerimientos nutricionales mas bajos comparados con las otras etapas de producción de carne de cerdo (NRC, 1998). Por lo que típicamente se limita el consumo diario de alimento de la cerda gestante a un máximo de 50-60% de lo que sería su consumo voluntario (Ramonet *et al.*, 1999), suficiente para cubrir su requerimiento diario de energía de mantenimiento y para el desarrollo de los productos de la concepción (Noblet *et al.*, 1990). Esta limitación en el consumo de alimento contribuye a la aparición de estereotipos (Viulle *et al.*, 1995). La inclusión de fibra en la dieta mantiene la sensación de saciedad por más tiempo, reduciendo la aparición de los estereotipos mejorando el bienestar de estos animales (Denielsen *et al.*, 2001).

Sin, embargo la inclusión de fibra en la dieta de las cerdas gestantes puede afectar negativamente la digestibilidad de los nutrientes y de la energía de la dieta (Le Goff *et al.*, 2002). En contraste, Fledderus y colaboradores (2007) encontraron que la fibra soluble mejoró la digestibilidad de la proteína dietaria al incrementar el tiempo de retención de la digesta en el estómago. Dado que el impacto negativo de la inclusión de fibra en la dieta es menor conforme aumentaba la edad y el peso de los animales (Noblet y Le Goff, 2001; Le Goff *et al.*, 2002), se puede suponer que las cerdas adultas (gestantes y vacías) y los sementales, son la mejor opción para utilizar ingredientes no tradicionales en su alimentación.

Cabe señalar que la mayor parte de la información existente sobre el efecto de la inclusión de fibra en la dieta hace referencia a cerdos en crecimiento y finalización, y dadas las diferencias entre estos y las cerdas gestantes en cuanto a su capacidad digestiva y fermentativa de la dieta, sería erróneo tratar de extrapolar la información existente a cerdas gestantes (Stein *et al.*, 2001).

En México, La región del bajo es una zona de importancia para los sectores agrícola y pecuario del país. Algunas de estas agroindustrias generan subproductos y desechos que pudieran ser utilizados en la formulación de alimentos balanceados para animales. Por lo que si se genera la información suficiente sobre el tipo y cantidad de esa fibra, así como el efecto que pudiera tener sobre la digestibilidad de los nutrientes se podrían utilizar eficientemente en la alimentación de cerdas adultas. El objetivo de este trabajo fue comparar la digestibilidad aparente de la energía y el nitrógeno contenidos en dietas de cerdas gestantes con diferentes niveles de inclusión y perfil de fibra, usando ingredientes no tradicionales como principal fuente de fibra para la dieta.

## 6.2 Resumen

Con el objetivo de comparar el efecto del nivel de FDN de la dieta sobre la digestibilidad de la energía y del nitrógeno en cerdas gestantes se formularon ocho dietas con diferentes niveles de FDN, usando para cada dieta diferentes subproductos agroindustriales como fuente principal de fibra. Se utilizaron 64 cerdas gestantes (Landrace x Duroc), con peso promedio de  $181.6 \pm 30.8$  kg de peso vivo, en un diseño de bloques completos al azar, donde la unidad experimental fue la cerda y el bloque correspondió al grupo de parición. No se encontró diferencia en el consumo de alimento entre tratamientos ( $P > 0.05$ ). El consumo de FDA tuvo un efecto lineal negativo ( $r^2 = 0.32$ ,  $P < 0.01$ ) sobre la digestibilidad aparente de la energía bruta (DAE), mostrando que por cada 100 g de FDN consumido, la DAE se reducirá en 4.9% ( $y = -0.049x + 92.8$ ,  $P < 0.01$ ). De forma similar, por cada 100g de FDN ( $r^2 = 0.28$ ) la DAE disminuirá en un 2.7% ( $y = -0.027x + 93.8$ ,  $P < 0.01$ ). La digestibilidad aparente de nitrógeno (DAN) fue mayor en las cerdas alimentadas con las dietas CRL (83.6%) y STR (84.4%), las cuales no fueron diferentes entre sí. En contraste, las DAN más bajas fueron de las cerdas en los tratamientos HAA (76.5%), y PAT (77.9%) ( $P < 0.01$ ;  $SEM = 0.47$ ). La DAE de las cerdas alimentadas con la dieta STR, fue similar a la dieta CRL. De forma similar, la DAN de las cerdas alimentadas con las dietas STR y PBR, no tuvieron diferencias con aquellas asignadas a la dieta CRL. Esto se atribuye a que las dietas STR y PBR tuvieron los mayores consumos de FS, lo que favoreció la fermentación bacteriana del nitrógeno, almidón resistente y de la misma fibra incrementando la digestibilidad. En conclusión, se observó que el consumo esperado de FDN y FDA de las cerdas gestantes alimentadas con dietas formuladas con ingredientes no tradicionales son útiles para predecir el efecto negativo que sobre la digestibilidad de la energía y con ello, hacer los ajustes necesarios en la cantidad de alimento ofrecido para compensar dicha disminución. Esto indica que la inclusión de ingredientes no tradicionales en la dieta de cerdas gestantes sea factible si se conoce su contenido de FDA y/o FDN. Los resultados muestran que con un nivel de FDN en la dieta mayor al 17%, reducirá en un 8% la DAE y de la DAN, en comparación con una dieta baja en fibra. De forma similar, un nivel de FDN de 14.5% puede reducir la DAE y la DAN en un 4.6% y 7%, respectivamente, en relación a una dieta baja en fibra. Sin embargo, en este trabajo, se tuvo un comportamiento similar de las dietas en las que se usó como fuente principal de fibra el pata de brócoli y el salvado de trigo, en comparación con el tratamiento control, por lo que si se establece un nivel de inclusión óptimo

de estos dos ingredientes podrían ser usados en la alimentación de cerdas gestantes sin afectar la disponibilidad de la energía y del nitrógeno dietarios.

### **6.3 Abstract**

In order to compare the effect of level of dietary NDF on digestibility of energy and nitrogen in pregnant sows, eight diets were formulated with different levels of NDF, using for each diet, different agro-products as the main source of fiber. 64 pregnant sows were used (Landrace x Duroc) with an average weight of  $181.6 \pm 30.8$  kg live weight on a design of randomized blocks, where the experimental unit was the pregnant sow and block corresponded to the calving group. There was no difference in feed intake between treatments ( $P > 0.05$ ). FDA consumption had a negative linear effect ( $r^2=0.32$ ,  $P < 0.01$ ) on the apparent digestibility of gross energy (DAE), showing that for every 100 g of NDF consumed, the DAE will be reduced by 4.9% ( $y = -0.049x + 92.8$ ,  $P < 0.01$ ). Similarly, for every 100g of NDF, DAE will fall by 2.7% ( $y = -0.027x + 93.8$ ,  $P < 0.01$ ). The apparent digestibility of nitrogen (DAN) was higher in sows fed CRL (83.6%) and STR (84.4%) diets, which were not different. In contrast, DAN was lower for the sows fed HAA (76.5%), and PAT (77.9%) diets ( $P < 0.01$ ;  $SEM = 0.47$ ). The DAE of sows fed the diet STR was similar to diet CRL. Similarly, the DAN of sows fed STR and PBR had no differences with those allocated to diet CRL. This is attributed to STR and PBR diets had the highest consumption of FS, which favored bacterial fermentation of nitrogen, resistant starch and increasing the same fiber digestibility. In conclusion, we found that the expected consumption of NDF and ADF of pregnant sows fed diets made with nontraditional ingredients are useful in predicting the negative effect on digestibility of energy and thus make the necessary adjustments in the amount of food offered to compensate. This indicates that the inclusion of non-traditional ingredients in the diet of pregnant sows is feasible if we know the content of FDA and/or NDF. The results show that with a level of NDF in the diet increased to 17%, reduced by 8% DAN and DAE, compared with a diet low in fiber. Similarly, a level of 14.5% NDF could reduce DAN and DAE by 4.6% and 7%, respectively, compared to a diet low in fiber. However, in this work, we had a similar pattern of diets in which it was used as the main source of fiber leg broccoli and wheat bran, compared with the control treatment, so that establishing a level optimal inclusion of these two ingredients could be used in the feeding of pregnant sows without affecting the availability of dietary energy and nitrogen.

## **6.4 Material y Método**

Este trabajo se realizó en las instalaciones porcinas y en el laboratorio de nutrición del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología Animal (CENID-FA), INIFAP ubicado en el municipio de Colón, Querétaro.

### *Manejo de los Animales*

Sesenta y cuatro cerdas gestantes (Landrace X Duroc) con peso vivo promedio de 181.6 kg (rango 131.5 a 244.7 kg) y número de partos entre 1 a 7 fueron usadas para estudiar el efecto de la fibra dietaria sobre la digestibilidad de la dieta. Las cerdas fueron seleccionadas 48 horas después de la última inseminación artificial, distribuidas al azar a una de las ocho dietas experimentales, pesadas individualmente y llevadas a jaulas individuales para gestación de 2.30 x 0.56 m. Al final del periodo experimental las cerdas se reincorporaron al grupo de parición correspondiente.

### *Tratamientos experimentales*

La composición de las dietas se resume en el Cuadro 6.4.1. Los tratamientos experimentales consistieron de una dieta típica de campo usada como dieta control baja en fibra dietaria, basada en sorgo molido y pasta de soya (CRL) y 7 dietas a las que se les agregó un subproducto no tradicional diferente como fuente principal de fibra: 4 dietas que contuvieron 1.5 veces la concentración de fibra detergente neutro (FDN) en comparación con la dieta control: pata de brócoli (PBR), lignocelulosa con 3.5% de inclusión (LC3.5; Arbocel, J. Rettenmaier & Söhe), pasta de ajonjolí tostado (PAT), y salvado de trigo (STR) y 3 dietas con 2 veces el contenido de FDN en relación con la dieta control: heno de alfalfa (HAA), lignocelulosa 7% de inclusión (LC7) y cascarilla de arroz (CAR). Las dietas fueron

formuladas para contener niveles similares de proteína cruda pero con distinto contenido de energía debido al efecto de dilución de la diferente inclusión de fibra. Todos los subproductos no tradicionales se incorporaron a la ración tal y como se encuentran al ser obtenidos o comprados, con excepción de la pata de brócoli que fue picada en un molino de martillos para forrajes y granos con motor a gasolina (Honda de  $\frac{1}{4}$  de caballo de fuerza) sin criba a un tamaño aproximado de 3-5 cm, secada al sol y almacenado en costales. El análisis de laboratorio de las dietas experimentales se presenta en el Cuadro 6.4.2.

CUADRO 6.4.1 COMPOSICIÓN Y ANÁLISIS CALCULADO DE NUTRIENTES DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES<sup>1</sup>

Inclusión de fibra	Baja			Media			Alta		
	CRL	PBR	LC3.5	PAT	STR	HAA	LC7	CAR	
Ingrediente %									
Sorgo, molido 9%	79.20	69.31	74.93	79.35	71.88	67.50	70.87	69.57	
Soya, pasta 46%	15.91	10.70	16.34	6.35	13.22	12.20	17.21	16.47	
Lignocelulosa			3.50				7.00		
Alfalfa, heno 17%pc				10.00		16.00			
Ajonjolí, pasta 45%pc									
Brócoli, pata		15.00			10.00				
Trigo, salvado									
Arroz, cascarilla								9.00	
Ortofosfato	1.71	1.87	1.86	1.69	1.84	1.73	1.85	1.83	
Sebo	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Vitaminas U-058	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	
Sal, NaCl	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	
Calcio-Carbonato	1.06	1.00	0.95	0.49	0.95	0.45	0.95	1.01	
Vitaminas U-059	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	
Minerales U-060	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	
			ANÁLISIS CALCULADO						
EM, Kcal/kg <sup>a</sup>	3170	3030	3086	3157	3090	2941	2996	2965	
PC, % <sup>b</sup>	14.44	14.00	14.38	14.19	14.06	14.38	14.31	14.06	
FDN, % <sup>c</sup>	7.44	10.34	12.10	12.25	12.30	14.56	14.64	14.66	
FDA, % <sup>d</sup>	3.0	5.71	6.8	6.72	5.18	8.5	9.23	9.87	

<sup>1</sup>CRL=control, PBR=pata de brócoli, LC3.5=lignocelulosa 3.5%, PAT=pasta de ajonjolí tostada, STR=salvado de trigo, HAA=henos de alfalfa, AL7=lignocelulosa 7%, y CAR=cascarilla arroz. <sup>a</sup> EM=energía metabolizable, <sup>b</sup> PC= proteína cruda, <sup>c</sup> FDN=fibra detergente neutro y <sup>d</sup> FDA=fibra detergente ácido.

CUADRO 6.4.2 ANALISIS DE LABORATORIO DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES

Inclusión de fibra Dietas <sup>1</sup>	Baja	Media				Alta		
	CRL	PBR	LC3.5	PAT	STR	HAA	LC7	CAR
MS, % <sup>2</sup>	89.2	88.5	88.5	88.5	88.4	88.5	88.8	89.9
EB, Kcal/kg <sup>3</sup>	4426.4	4327.5	4459.1	4421.9	4413.5	4418.8	4427.8	4319.3
ED, Kcal/kg <sup>4</sup>	3925.4	3736.0	3917.5	3836.1	3808.2	3815.2	3798.4	3713.2
EM, Kcal/kg <sup>5</sup>	3544.4	3333.4	3549.0	3471.0	3422.8	3455.5	3406.0	3322.3
PC, % <sup>6</sup>	15.5	15.6	15.1	13.8	15.4	14.1	14.3	14.9
FDN, % <sup>7</sup>	10.7	12.4	13.8	14.5	14.2	18.1	17.3	17.2
FDA, % <sup>8</sup>	4.5	6.9	6.4	7.7	5.9	8.6	7.3	9.6
HC, % <sup>9</sup>	6.2	5.5	7.4	6.8	8.3	9.5	10.0	7.6
FIS, % <sup>10</sup>	9.4	19.2	20.1	17.4	19.6	20.7	23.0	23.8
FS, % <sup>11</sup>	3.0	3.9	3.2	3.6	2.7	3.9	2.9	1.2
C, % <sup>12</sup>	5.7	7.2	5.5	6.3	6.8	5.7	6.4	6.8

<sup>1</sup>CRL=control, PBR=pata de brócoli, LC3.5=lignocelulosa 3.5%, PAT=pasta de ajonjolí tostada, STR=salvado de trigo, HAA=heno de alfalfa, AL7=lignocelulosa 7%, y CAR=cascarilla arroz. <sup>2</sup>MS= materia seca, <sup>3</sup>EB= energía bruta calculada mediante la ecuación  $949+(0.789 \times EB)-(43 \times \%C)-(41 \times \%FDN)$  (Noblet and Pérez, 1993) y ajustada para cerdas adultas con la ecuación  $-712+(1.14 \times ED)+ (33 \times \%FDN)$  (Noblet and Shi, 1993). <sup>4</sup>ED=energía digestible calculada mediante la ecuación  $ED \times (1.003-(0.0021 \times \%PC))$  (Noblet and Pérez, 1993) y ajustada para cerdas adultas con la ecuación  $-946+(1.17 \times EM)+ (3.15 \times \%FDN)$  (Noblet and Shi, 1993). <sup>5</sup>EM= energía metabolizable, <sup>6</sup>PC=proteína cruda, <sup>7</sup>FDN=fibra detergente neutro, <sup>8</sup>FDA=fibra detergente ácido, <sup>9</sup>Hemicelulosa=FDN-FDA, <sup>10</sup>FIS=fibra insoluble, <sup>11</sup>FS=fibra soluble y <sup>12</sup>C=cenizas.

El consumo diario de alimento se calculó en base al peso vivo metabólico y contenido de energía en la dieta asignada para cubrir el requerimiento energético de acuerdo con el modelo de gestación del NRC (1998) usando el programa Nutrient Requirements of Swine (NRC, 1998), con ganancia de peso total esperada en la gestación de 40 kg y un tamaño de camada esperada de 10 lechones. Las cerdas fueron alimentadas dos veces al día en partes iguales a las 700 y 1500 horas. El agua se ofreció a libre acceso en bebederos de chupón.

### *Diseño experimental*

Las cerdas fueron incluidas en un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones por tratamiento por bloque, cuatro bloques en total para tener 8 animales por tratamiento, donde el bloque correspondió al grupo de parición y la unidad experimental fue la cerda. El periodo experimental fue de 22 días, contando como día 1 el día cuando se les ofreció por primera vez la dieta asignada, 48 hrs después de la última dosis de la inseminación artificial. Los primeros 19 días fueron de adaptación a la dieta y los 3 días siguientes de toma de muestras.

### *Toma de muestras*

Se colectaron muestras de heces tomándolas directamente del ano a las 0700, 1000, 1300, 1600 y 1900 horas durante los 3 días de colección. Cada muestra se depositó en una bolsa de plástico y se identificó para ser almacenada inmediatamente a -20° C para su conservación. Al final del periodo de recolección se descongelaron las muestras de cada cerda y se formó con ellas una sola muestra o “pool”, la cual fue homogenizada para ser desecada en estufa de aire forzado a 55°C por 4 días. Posteriormente fue molida a un tamaño de partícula de 1mm para tomar una alícuota de 400 g para su análisis.

La orina se midió completa durante los 3 días de muestreo. Para facilitar su colección al día 19 del periodo experimental se insertó en la vejiga vía vaginal una sonda de látex tipo Foley (KENDALL) de diferente diámetro (18, 20 ó 22°F) según el tamaño de la cerda. La sonda se fijó un contenedor de 20lt de capacidad equipado con tapa al que se le adicionaba 40 ml de HCL 6N para conservar la orina. Se midió el volumen y peso de la orina dos veces al día a las 700 y 1900 horas. Se tomaron cantidades proporcionales de orina de cada cerda suficientes para tener al menos 300 ml de orina por día de muestreo que se congelaron a -20° C. El resto de la orina era desechada. Luego de toma de muestras el recipiente para la colección era lavado y se adicionaban otros 40 ml de HCL 6N. Al final del periodo la orina de cada cerda era descongelada y mezclada, en una sola muestra o “pool”, que era homogenizada y se tomaba una alícuota de al menos 500 ml que era congelada a -20°C nuevamente hasta su análisis.

#### *Determinación de la digestibilidad*

A partir del día 15 del periodo experimental y hasta terminado el periodo de colección se adicionó 0.3% de óxido de cromo como marcador indigestible a las dietas experimentales.

El contenido de nitrógeno de las dietas, heces y orina se midió usando el método de Kjeldahl (método 984.13 AOAC, 2000. Destilador Kjelttec 2300 de FOSS), se determinó la fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) de las dietas y heces usando el método de Van Soest (Van Soest 1963a, 1963b) y la energía bruta en bomba calorimétrica (modelo PARR 1266). Adicionalmente se cuantificó la fibra soluble (FS) y fibra insoluble (FIS) contenidos en la dieta por los métodos 991.53 y 985.29 descritos por la AOAC (AOAC, 2000) basados en la metodología de Prosky (Prosky *et al.*, 1985, 1988).

Los coeficientes de digestibilidad total aparente de los nutrientes y energía fueron calculados mediante la relación nutriente-marcador indigestible en la dieta y en las heces usando la siguiente fórmula:

$$\text{Digestibilidad total aparente (\%)} = \left\{ \frac{CrO_3 \text{ dieta}}{CrO_3 \text{ heces}} \left[ \frac{Z_{heces}}{Z_{dieta}} \right] \right\} \times 100$$

Donde  $CrO_3 \text{ dieta}$  y  $CrO_3 \text{ heces}$  son las cantidades de marcador indigestible en la dieta y en heces respectivamente;  $Z_{heces}$  y  $Z_{dieta}$  son los porcentajes del nutriente o cantidad energía en las heces y en la dieta, respectivamente.

### *Análisis estadístico*

Las diferencias entre el consumo diario de la energía proteína y distintas fracciones de fibra así como sus digestibilidades se midieron por comparación de medias en un modelo de análisis de varianza. Como las digestibilidades se calcularon en base a los promedios, se calculó el logaritmo natural de cada uno de ellos para que tuvieran una distribución normal y se pudieran analizar dentro del modelo de ANOVA. También se diseñaron modelos de correlación y regresión para medir la relación entre el nivel de inclusión de fibra y distintos coeficientes de digestibilidad. Todos los procedimientos estadísticos se realizaron usando el paquete SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC).

## **6.5 Resultados y discusión**

El peso vivo (PV) inicial y consumos de materia seca, materia orgánica y fracciones de fibra se resumen en la Cuadro 6.5.1. No se encontraron diferencias en el peso vivo de las cerdas al inicio del experimento ( $P > 0.05$ ) entre los tratamientos debido a que las cerdas de cada bloque fueron seleccionadas al azar dentro de cada grupo de parición y se observó una variación alta en los pesos corporales de las cerdas dentro de los tratamientos (media=181.7 kg de PV;

SD=30.9). Como el consumo de alimento se calculó en base al peso vivo metabólico de las cerdas tampoco se observó diferencia en el consumo de la materia seca y la materia orgánica entre tratamientos ( $P>0.05$ ).

Como se esperaba en la formulación de las dietas, el mayor consumo de fibra detergente neutro (CFDN) lo tuvieron las cerdas alimentadas con los tratamientos con inclusión alta de fibra, seguidas por las cerdas que consumieron las dietas con inclusión media y el menor CFDN lo tuvieron las cerdas que alimentadas con la dieta CRL ( $P=0.01$ ). El mayor consumo de fibra detergente ácido (CFDA) se tuvo con los tratamientos HAA y CAR ( $P<0.01$ ). Mientras que el CFDA de las cerdas en la dieta LC7 fue similar al de las cerdas designadas a los tratamientos con inclusión media PBR y PAT ( $P>0.05$ ), seguidas por las dietas LC3.5 y STR. Las cerdas en el tratamiento CRL mostraron el menor CFDA ( $P<0.01$ ). La diferencia en el contenido de hemicelulosa entre las dietas (Cuadro 6.4.2) y por lo tanto en el consumo diario de hemicelulosa (CHC) es responsable de que las cerdas que asignadas a la dieta alta en fibra LC7 presentaran un menor CFDA que las dietas HAA y CAR a pesar de que presentaron el mismo CFDN. De la misma forma, el CHC ocasionó que el CFDA fuera menor ( $P<0.01$ ) para los tratamientos LC3.5 y STR en comparación con PBR y PAT.

En este trabajo, la inclusión de fibra se realizó en base a la fracción de FDN. Al determinar la cantidad de fibra en base a su característica de solubilidad, la cantidad de fibra insoluble de las dietas se incrementó en proporción al nivel de FDN ya que ambas determinaciones se componen principalmente de celulosa y lignina. Debido a lo anterior, el consumo de fibra insoluble (CFIS) fue más alto en las cerdas asignadas a las dietas con nivel alto de inclusión de fibra, seguidas por las dietas con inclusión media y el menor consumo para las cerdas con la dieta CRL ( $P<0.01$ ). En contraste el contenido de fibra soluble en las dietas quedo sujeto al aporte de cada ingrediente utilizado por lo que la fibra soluble no se presentó en un patrón determinado por el nivel de inclusión de FDN, mostrando el

mayor consumo de fibra soluble (CFS) en las dietas PBR, STR y PAT, seguidas por las cerdas asignadas a las dietas LC3.5, LC7, CRL y HAA y con el menor CFS las cerdas alimentadas con la dieta CAR ( $P < 0.01$ ).

CUADRO 6.5.1 PESO INICIAL Y CONSUMO DIARIO<sup>1</sup> DE LAS CERDAS ALIMENTADAS CON LAS DIETAS EXPERIMENTALES

Inclusión de fibra	Baja			Media			Alta		
	CRL	PBR	LC3.5	PAT	STR	HAA	LC7	CAR	SEM <sup>3</sup>
Dietas <sup>2</sup>									
PI, kg <sup>4</sup>	185.9	185.9	166.1	176.5	176.2	190.0	193.6	178.9	3.86
MS, g/día <sup>5</sup>	1863.8	1895.2	1834.0	1837.6	1878.0	1944.0	1984.0	1927.2	23.86
C, g/día <sup>6</sup>	118.7	155.4	115.3	132.0	145.5	124.4	144.2	146.7	2.39
MO, g/día <sup>7</sup>	1745.1	1739.8	1718.6	1705.4	1732.3	1819.6	1839.8	1780.4	22.13
FDN, g/día <sup>8</sup>	223.8 <sup>d</sup>	266.0 <sup>c</sup>	287.0 <sup>bc</sup>	300.7 <sup>bc</sup>	302.0 <sup>b</sup>	392.4 <sup>a</sup>	386.8 <sup>a</sup>	368.7 <sup>a</sup>	8.22
FDA, g/día <sup>9</sup>	94.0 <sup>d</sup>	148.7 <sup>b</sup>	132.5 <sup>c</sup>	159.1 <sup>b</sup>	125.1 <sup>c</sup>	186.7 <sup>a</sup>	163.6 <sup>b</sup>	206.7 <sup>a</sup>	4.61
HC, g/día <sup>10</sup>	129.8 <sup>e</sup>	117.2 <sup>e</sup>	154.4 <sup>cd</sup>	141.5 <sup>d</sup>	177.0 <sup>b</sup>	205.6 <sup>a</sup>	223.2 <sup>a</sup>	161.9 <sup>bc</sup>	4.80
FIS, g/día <sup>11</sup>	195.7 <sup>d</sup>	411.1 <sup>bc</sup>	416.1 <sup>b</sup>	361.4 <sup>c</sup>	416.8 <sup>b</sup>	448.7 <sup>ab</sup>	514.8 <sup>a</sup>	510.2 <sup>a</sup>	12.96
FS, g/día <sup>12</sup>	61.5 <sup>b</sup>	83.3 <sup>a</sup>	66.2 <sup>b</sup>	75.3 <sup>a</sup>	82.8 <sup>a</sup>	59.8 <sup>b</sup>	64.8 <sup>b</sup>	25.0 <sup>c</sup>	2.32

<sup>1</sup>Reportado en base materia seca, <sup>2</sup>CRL=control, PBR=pata de brócoli, LC3.5=lignocelulosa 3.5%, PAT=pasta de ajonjolí tostado, STR=salvado de trigo, HAA=heno de alfalfa, LC7=lignocelulosa 7%, y CAR=cascarilla arroz, <sup>3</sup>Media del error estándar. <sup>4</sup>Peso inicial, <sup>5</sup>MS=materia seca, <sup>6</sup>C=cenizas, <sup>7</sup>MO=materia orgánica, <sup>8</sup>FDN=fibra detergente neutro, <sup>9</sup>FDA=fibra detergente ácido, <sup>10</sup>HC=hemicelulosa=FDN-FDA, <sup>11</sup>FIS=fibra insoluble y <sup>12</sup>FS=fibra insoluble. Entre columnas, medias con distinto superíndice son diferentes a un nivel de significancia de P<0.01.

### *Efecto de la dieta sobre el balance de nitrógeno*

El consumo de nitrógeno (CN) fue mayor en las cerdas que consumieron la dieta LC7, mientras que el menor CN se observó en las cerdas designadas a la dieta PAT ( $P < 0.01$ ). En los demás tratamientos se tuvieron CN similares (Cuadro 6.5.2). En el presente trabajo, el nivel de inclusión de FDN en las dietas no tuvo un efecto claro sobre la excreción de nitrógeno en las heces (ENH). Tanto las cerdas asignadas a las dietas altas en fibra, HAA, LC7 y CAR, así como dos de las dietas con inclusión media de fibra, LC3.5 y PAT, tuvieron similar ENH ( $P > 0.05$ ) pero fueron mayores ( $P < 0.01$ ) en comparación con las cerdas asignadas a los tratamientos STR y CRL. No se encontraron diferencias entre tratamientos cuando se evaluó la excreción de nitrógeno en orina (ENO;  $P > 0.1$ ) ni en la excreción de nitrógeno total ( $ENT = ENH + ENO$ ;  $P > 0.05$ ). Se observó una menor retención de nitrógeno ( $RN = CN$  menos  $ENT$ ;  $P < 0.05$ ) en las cerdas alimentadas con las dietas PAT y HAA, debido a que las cerdas alimentadas con estas dietas consumieron menor cantidad de nitrógeno en comparación con los demás tratamientos ( $P < 0.01$ ) y al no haber diferencia en la excreción de nitrógeno total, aparentemente tuvieron menor RN. Pero se demostró que no hubo diferencia al ajustar la RN en porcentaje de CN (RNC), donde no se observó diferencia entre los tratamientos ( $P > 0.1$ ). Resultados similares fueron reportados por Rentería y colaboradores (2008) en cerdas gestantes que fueron alimentadas con una dieta control baja en fibra comparada con 3 dietas con diferente inclusión de FS y FI. Ellos no observaron diferencia entre tratamientos cuando evaluaron la ENO y la ENT, así como tampoco en la RNC.

La digestibilidad fecal aparente del nitrógeno (DAN) fue menor en las cerdas que tuvieron un mayor consumo de FDN y FDA (HAA, LC7, CAR LC3.5 y PAT) en comparación con las cerdas en el tratamiento CRL ( $P < 0.05$ ). Estudios anteriores han arrojado resultados contradictorios con respecto al efecto de la fibra dietaria sobre la digestibilidad del nitrógeno. Se reportó que la inclusión de subproductos

de la industrialización de trigo (Huang *et al.*, 2001) y purificado de FDN a partir de salvado de trigo (Shulze *et al.*, 1994) en diferentes niveles de inclusión no afectaron la digestibilidad de la proteína cruda de la dieta de cerdos. En contraste, Holt y colaboradores (2006), reportaron que en cerdas gestantes al comparar una dieta alta en fibra (27.4% de FDN) contra otra dieta baja en fibra (7.52% de FDN) se presentó una reducción del 6.3% ( $P < 0.05$ ;  $SEM = 0.53$ ) en la digestibilidad aparente del nitrógeno (DAN, 81.9 y 87.4%, respectivamente).

Se observó que las cerdas alimentadas con las dietas STR y PBR, que tuvieron los mayores consumos de FS (Cuadro 6.5.1;  $P < 0.01$ ), mostraron similar DAN que las hembras asignadas al tratamiento CRL ( $P > 0.05$ ). En este experimento, la similitud en la DAN de las dietas CRL, PBR y PAT con la dieta CRL, se explicó por el mayor consumo de FS. Owusu-Asiedu y colaboradores (2006) sugirieron que la inclusión de FS puede incrementar marginalmente la digestibilidad fecal aparente del nitrógeno. En acuerdo con lo anterior, Fledderus y colaboradores (2007) reportaron que la inclusión de 1% de carboximetilcelulosa (polímero de celulosa modificado altamente soluble) como fuente de FS para incrementar la viscosidad de la dieta de lechones destetados incrementó en 4 unidades porcentuales la digestibilidad fecal aparente del nitrógeno en comparación con la dieta control (84.2 y 80.3%, respectivamente;  $P = 0.04$ ). Los autores sugirieron que la disminución en la tasa de pasaje gástrica por la inclusión de la fibra soluble permitió una mayor hidrólisis de la proteína dietaria en el estómago. Sin embargo, los modelos de regresión diseñados en el presente trabajo no mostraron efecto del consumo de FS sobre la digestibilidad del nitrógeno ( $R^2 = 0.01$ ;  $P > 0.3$ ).

La DAN de la dieta PAT fue la más baja (77.9%). Lo anterior pudo deberse a que la fuente de fibra usada en esta dieta (pasta de ajonjolí tostado) fue sometida a un tratamiento térmico, que pudo haber modificado estructuralmente la proteína contenida en este ingrediente lo que la hizo parcialmente resistente a la digestión enzimática. El mismo efecto térmico se ha reportado en los granos secos de

destilería con solubles (DDGS, por sus siglas en inglés). Una mayor pigmentación oscura, ocasionada por el proceso térmico al que es sometido este subproducto, se relaciona con una reducción en la digestibilidad de la proteína en cerdos (Fastinger y Mahan, 2006). De forma similar, Evans y Butts (1948) sugirieron que el calor excesivo durante el proceso de extracción del aceite de soya ocasionaba que la proteína contenida en la soya se ligara a otros compuestos de la dieta, como la fibra, haciéndolos menos susceptibles a la degradación enzimática en no rumiantes.

Por otro lado, se observó que las cerdas asignadas a las dietas PAT, HAA y LC3.5 que consumieron la menor cantidad de nitrógeno, tuvieron las DAN más bajas (Cuadro 6.5.2). Lo anterior pudo deberse a que la digestibilidad no fue ajustada con la pérdida de nitrógeno endógeno, por lo que la DAN de estas dietas pudiera estar subestimada (Stein et al., 2007).

La excreción de nitrógeno en las heces no se afectó directamente por la fibra dietaria, similar a los datos reportados por Zervas y Zijlstra, (2001). Esto se demostró al tener diferentes cantidades de ENH entre los tratamientos dentro del mismo nivel de inclusión de fibra, así como similares ENH entre algunas dietas con distinta inclusión de fibra. En contraste, se puede teorizar que una mayor proporción de FS pudo favorecer la digestibilidad aparente del nitrógeno en las cerdas que consumieron las dietas STR y PBR.

La pata de brócoli puede ser incluida en la dieta de cerdas adultas sin que afecte de forma importante la digestibilidad del nitrógeno, al menos al nivel en que fue incluida en este experimento (15%). Por otro lado, para hacer uso eficiente de la pasta de ajonjolí tostado debe tomarse en cuenta que contiene una porción de proteína de que no es susceptible a la digestión enzimática por lo que se deben hacer los ajustes necesarios en la formulación para compensar esta reducción en la digestibilidad.

CUADRO 6.5.2. CONSUMO DIARIO, EXCRECIÓN Y DIGESTIBILIDAD APARENTE DE NITRÓGENO EN CERDAS GESTANTES

Inclusión defibra	Baja					Media					Alta		
	CRL	PBR	LC3.5	PAT	STR	HAA	LC7	CAR	SEM				
Dieta <sup>1</sup>													
CN, g/día <sup>2**</sup>	51.9 <sup>b</sup>	53.7 <sup>b</sup>	50.2 <sup>b</sup>	45.9 <sup>c</sup>	52.6 <sup>b</sup>	49.1 <sup>b</sup>	61.3 <sup>a</sup>	51.3 <sup>b</sup>	0.82				
ENH, g/día <sup>3**</sup>	8.5 <sup>b</sup>	9.9 <sup>ab</sup>	10.0 <sup>a</sup>	10.0 <sup>a</sup>	8.1 <sup>b</sup>	11.5 <sup>a</sup>	11.6 <sup>a</sup>	10.0 <sup>a</sup>	0.22				
ENO, g/día <sup>4</sup>	20.6	22.2	19.5	18.5	20.6	18.5	21.8	20.5	0.61				
ENT, g/día <sup>5</sup>	29.1	32.1	29.5	28.5	28.7	30.08	33.5	30.5	0.67				
NR, g/día <sup>6*</sup>	22.8 <sup>a</sup>	21.6 <sup>a</sup>	20.7 <sup>a</sup>	17.4 <sup>b</sup>	23.9 <sup>a</sup>	19.1 <sup>b</sup>	27.8 <sup>a</sup>	20.8 <sup>a</sup>	0.89				
NR-C, % <sup>7</sup>	44.3	40.2	40.6	37.6	44.8	38.7	44.2	40.3	1.31				
DAN, % <sup>8*</sup>	83.6 <sup>ab</sup>	81.5 <sup>bc</sup>	79.8 <sup>cd</sup>	77.9 <sup>d</sup>	84.4 <sup>a</sup>	76.5 <sup>d</sup>	80.9 <sup>c</sup>	80.4 <sup>c</sup>	0.47				

<sup>1</sup>CRL=control, AR3.5=lignocelulosa 3.5%, AR7=lignocelulosa 7%, AA=heno de alfalfa, PA=pasta de ajonjolí tostado, PB=pata de brócoli, ST=salvado de trigo y CA=cascarilla arroz, <sup>2</sup>CN=consumo diario de nitrógeno, <sup>3</sup>ENH=nitrógeno excretado en heces, <sup>4</sup>ENO=nitrógeno excretado en orina, <sup>5</sup>ENT=total de nitrógeno excretado=ENH+ENO, <sup>6</sup>NR=nitrógeno retenido=CN-ENT, <sup>7</sup>NR-C=nitrógeno retenido en porcentaje de lo consumido, <sup>8</sup>DAN=digestibilidad aparente del nitrógeno. Ente tratamientos, medias con diferente superíndice fueron diferentes con un nivel de \*P<0.05, \*\*P<0.01. Medias con el mismo superíndice fueron similares.

### *Efecto de la dieta sobre el balance de la Energía*

El consumo de alimento se calculó para cubrir el requerimiento energético de las cerdas en base a su peso corporal. Como no se observó diferencia en el peso vivo inicial (Cuadro 6.5.1), el consumo diario de energía bruta (CEB; ver cuadro 6.5.3) de las cerdas asignadas a las dietas experimentales no fue diferente ( $P > 0.05$ ). Las cerdas que consumieron las dietas altas en fibra HAA, LC7 y CAR excretaron más energía bruta en heces (EEH;  $P < 0.05$ ), seguidas por las hembras que recibieron los tratamientos PBR, LC3.5 y PAR ( $P < 0.05$ ). La menor EEH se encontró en las cerdas que consumieron las dietas CRL y STR.

Como se esperaba por reportes previos, la digestibilidad de la energía se vio afectada por el nivel de fibra en la dieta (Shi and Noblet. 1994; Bach Knudsen, 2001; Wenk, 2001, Wilfart *et al.*, 2007). Las dietas altas en fibra tuvieron la menor digestibilidad aparente de energía ( $P < 0.05$ ), seguidas por las dietas con inclusión media de fibra PBR, LC3.5 y PAT. Las cerdas alimentadas con las dietas CRL y STR tuvieron la mayor DAE ( $P < 0.05$ ). En coincidencia con los resultados obtenidos en el presente experimento, Ramonet y colaboradores (1999) reportaron que en cerdas adultas una dieta con 25.9% de FDN redujo la digestibilidad de la energía en 8.8%, en comparación con la dieta control que contenía 13.5% de FDN.

Usando modelos de predicción, Noblet y colaboradores (1994) demostraron que la digestibilidad de la proteína cruda esta estrechamente relacionada con la digestibilidad de la energía (5.57;  $P = 0.08$ ). En el presente trabajo, la baja DAE en la dieta PAT en comparación con las otras dietas con inclusión media de fibra se relaciona con la baja digestibilidad del nitrógeno en esta dieta. La correlación observada entre digestibilidad del nitrógeno y la digestibilidad de la energía fue de 0.68 ( $P < 0.01$ ), mostrando una relación lineal positiva en el modelo de regresión ( $DAE = 37.5 + 0.6 (DAN)$ ;  $R^2 = 0.46$ ;  $P < 0.01$ ).

CUADRO 6.5.3 CONSUMO DIARIO, EXCRECIÓN EN HECES Y DIGESTIBILIDAD APARENTE DE ENERGÍA  
EN CERDAS ADULTAS

Inclusión de fibra	Baja				Media				Alta		
	CRL	PBR	LC3.5	PAT	STR	HAA	LC7	CAR	SEM		
Dieta <sup>1</sup>	9245.8	9271.8	9241.5	9175.5	9373.3	9594.4	9896.3	9259.6	117.5		
CEB <sup>2</sup> , kcal/día	1022.1 <sup>e</sup>	1238.0 <sup>d</sup>	1356.1 <sup>c</sup>	1383.0 <sup>c</sup>	1048.0 <sup>e</sup>	1655.3 <sup>ab</sup>	1837.1 <sup>a</sup>	1568.6 <sup>b</sup>	42.8		
EEH <sup>3</sup> , kcal/día	8223.7	8033.9	7885.5	7792.5	8325.3	7939.0	8059.2	7690.9	116.8		
DAE, % <sup>5</sup>	88.9 <sup>a</sup>	86.7 <sup>ab</sup>	85.3 <sup>b</sup>	84.8 <sup>b</sup>	88.8 <sup>a</sup>	82.8 <sup>c</sup>	81.4 <sup>c</sup>	83.0 <sup>c</sup>	0.4		

<sup>1</sup>CRL=control, PBR=pata de brócoli, LC3.5=lignocelulosa 3.5%, PAT=pasta de ajonjolí tostado, STR=salvado de trigo, LC7=lignocelulosa 7%, HAA=heno de alfalfa y CAR=cascarilla arroz, <sup>2</sup>CEB=consumo diario de energía bruta, <sup>3</sup>EEH=energía excretada en heces, <sup>4</sup>CED=consumo diario de energía digestible y <sup>5</sup>DAE=energía digestible aparente. Entre columnas, las medias con distinto superíndice son diferentes con un nivel de significancia de P<0.05.

El CFDN mostró una relación lineal negativa ( $P < 0.01$ ) con la digestibilidad aparente de la energía (Figura 6.5.1). El modelo explica el 32% de la variación en el comportamiento de la energía digestible con el CFDN, prediciendo que por cada 100 gr de FDN consumidos se reducirá la digestibilidad de la energía en 2.8% ( $R^2 = 0.32$ ). En acuerdo con lo anterior, Noblet y Shi (1993) reportaron una relación negativa entre el consumo de FDN y la digestibilidad energética ( $DE = 101.4 \times NDF$ ;  $R^2 = 0.95$ ). El coeficiente de determinación es más alto en el trabajo previo en comparación con el presentado en este trabajo ( $R^2 = 0.32$ ). Esto pudo deberse a que los autores citados utilizaron 14 dietas con diferentes niveles de fibra dietaria que iban de 11.8 a 26.1g/100g de FDN y de 4.5 a 11g/100g de FDA y este mayor número dietas experimentales y niveles de fibra formaron una muestra más representativa de la relación nivel de fibra-digestibilidad. Así mismo, Noblet y Shi (1993) utilizaron 6 cerdas a las que les dieron en diferentes tiempos entre 8 y 10 de las 14 dietas experimentales, lo que redujo la variación por efecto de los animales. En el presente trabajo, La FDA no mostró ser un mejor índice de predicción de la DAE ( $R^2 = 0.31$ ;  $P < 0.01$ ) en comparación con la FDN, señalando que por cada 100g de FDA consumida la DAE se reducirá 4.9% (Figura 6.5.2).

Datos anteriores mostraron que usar el consumo de cenizas junto con el CFDN como variables independientes, eleva el coeficiente de regresión de 0.70 a 0.76. (Le Goff y Noblet, 2001). En acuerdo con lo anterior, al incluir el consumo de cenizas a la regresión se incremento el coeficiente de regresión ( $R^2 = 0.42$  y  $0.44$ , respectivamente;  $P < 0.01$ ) expresadas en las siguientes ecuaciones:

$$DAE = 88.42 - 0.36(\text{consumo de FDN}) + 0.06(\text{consumo de C})$$

$$DAE = 86.03 - 0.06(\text{consumo de FDA}) + 0.07(\text{consumo de C})$$

Se ha reportado que el origen botánico de la fibra (Eastwood MA, 1992; Noblet *et al.*, 2004), en función de su composición y propiedades fisicoquímicas (Ehle *et al.*, 1982) afecta de forma variable la digestibilidad de la dieta. Aunque el objetivo de este trabajo no era evaluar el origen de los ingredientes fibrosos usados en cada

dieta, en parte esto pudo ser la razón por la cual los coeficientes de regresión de los modelos de predicción fueron bajos.

En general, la inclusión de fibra en la dieta de cerdos va en detrimento de la digestibilidad aparente de los componentes de la dieta (Noblet y Pérez *et al.*, 1993). Sin embargo, se ha reportado que tanto el nivel de inclusión (Kass *et al.*, 1980) y la proporción en que se incluyan los diferentes componentes de la fibra (Le Goff *et al.*, 2001) afecta de diferente forma y grado al tubo gastrointestinal.

La propiedad de solubilidad de la fibra ha sido usada como un mejor indicador de los efectos sobre el tubo gastrointestinal. Rentería y colaboradores (2008) formularon 3 dietas una alta en fibra soluble (HS), una alta en fibra insoluble (HIS) y otra alta en fibra insoluble y fibra soluble (HS+HIS) que fueron comparadas con una dieta control (C) baja en fibra. Ellos observaron que en la dieta HS se incrementó la digestibilidad de la energía en 1.1 puntos porcentuales con respecto a la dieta C (89.1 y 87.9 %, respectivamente), de igual forma, en las dietas con mayor contenido de fibra, HIS y HS+HIS la fibra soluble mejoró la digestibilidad de la energía (HIS=82.95 vs HS+HIS=86.8%). En el presente trabajo, el CFS mostró un efecto benéfico sobre la digestibilidad de la energía. Los tratamientos STR y PBR donde se observaron los mayores consumos de FS (Cuadro 6.5.1) presentaron similar DAE que la dieta CRL (Cuadro 6.5.3), a pesar de que tuvieron el mismo consumo de FDN. En contraste, las dietas con mayor consumo de FIS HAA, LC7 y CAR mostraron la menor DAE. En un trabajo de revisión, Behall y colaboradores (1995) señalaron que en humanos un consumo de 300 g/día de celulosa (FIS) disminuyó la digestibilidad de la energía, mientras que el consumo de 50 g/día de pectina y goma guar (FS) no afectó la digestibilidad de la energía. Con todo, se ha reportado que durante la fermentación de la FS se generó una mayor cantidad de AGV en comparación con los generados por la FIS.

Para explicar el efecto de la FS sobre la digestibilidad se han propuesto dos mecanismos. Por un lado, el incremento de la viscosidad reduce la tasa de pasaje de la digesta por el intestino delgado, lo que favorece la acción enzimática sobre los nutrientes mejorando su digestibilidad (Fledderus *et al.*, 2007). Sin embargo, se ha visto que tanto la fibra soluble como insoluble incrementaron el volumen de la digesta al final del íleon, disminuyendo la digestibilidad ileal de los nutrientes, en comparación con la dieta baja en fibra (Wilfart *et al.*, 2007).

Por otro lado, Se ha reportado que un mayor consumo de fibra dietaria incrementó el número de bacterias anaerobias (Wang *et al.*, 2004a) y la actividad bacteriana (Jensen y Jorgensen, 1994) en el ciego y colon, incrementando la fermentación de los sustratos que ingresan al intestino grueso (i.e. proteína, carbohidratos solubles y almidón resistente; Serena *et al.*, 2008). Una mayor fermentación de los sustratos en ciego y colon, favorece la desaparición de estos, incrementando la digestibilidad fecal aparente de la energía. Aunado a esto, la fermentación de los carbohidratos resulta en la producción de ácidos grasos volátiles de cadena corta (AGV), principalmente acetato, propionato y butirato (Wang *et al.*, 2004b) que al ser metabolizados proporcionan un aporte extra de energía (Shi y Noblet., 1994) que se estima pueden contribuir con un 5 a 28% de la energía de mantenimiento (Varel *et al.*, 1987). La fibra soluble es fermentada casi en su totalidad en el intestino grueso (Back Knudsen, 2001) por lo que genera una mayor cantidad de AGV en comparación con fuentes de fibra insoluble. Sin embargo, al comparar la proporción de AGV generados por unidad de sustrato fermentado, la celulosa y los xilanos generan un mayor volumen de AGV en comparación con el almidón y la inulina debido a que son moléculas más compactas y contienen una mayor cantidad de monosacáridos por unidad de volumen (Bindelle *et al.*, 2007).

En el presente trabajo, la inclusión de FDN redujo la digestibilidad aparente de la energía en una proporción de 2.8% por cada 100 g/día de FDN consumido, el efecto de la FDA mostró tener mayor impacto sobre la digestibilidad de la energía

al reducirla en 4.9% por cada 100g/día de FDA consumidos. El impacto de la fibra se diluyó con un mayor consumo de fibra soluble como se pudo apreciar en los valores similares de energía digestible entre la dieta control y las dietas con mayor consumo de fibra soluble PBR y STR.

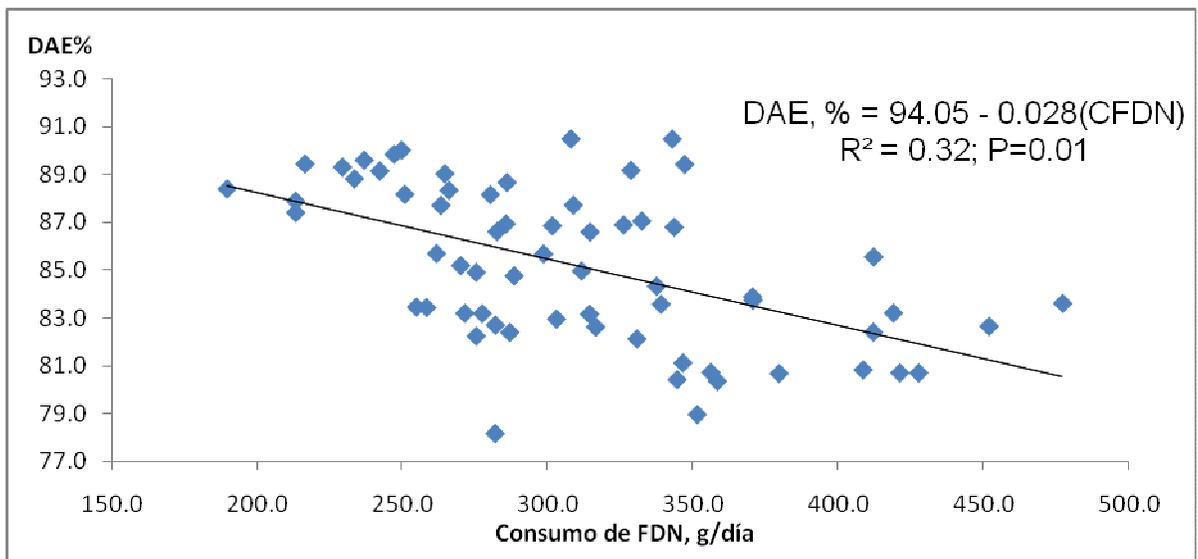


Figura 6.5.1. Efecto del consumo de fibra detergente neutro (CFDN) sobre la digestibilidad aparente de energía (DAE) en cerdas gestantes alimentadas con diferentes niveles de fibra en la dieta

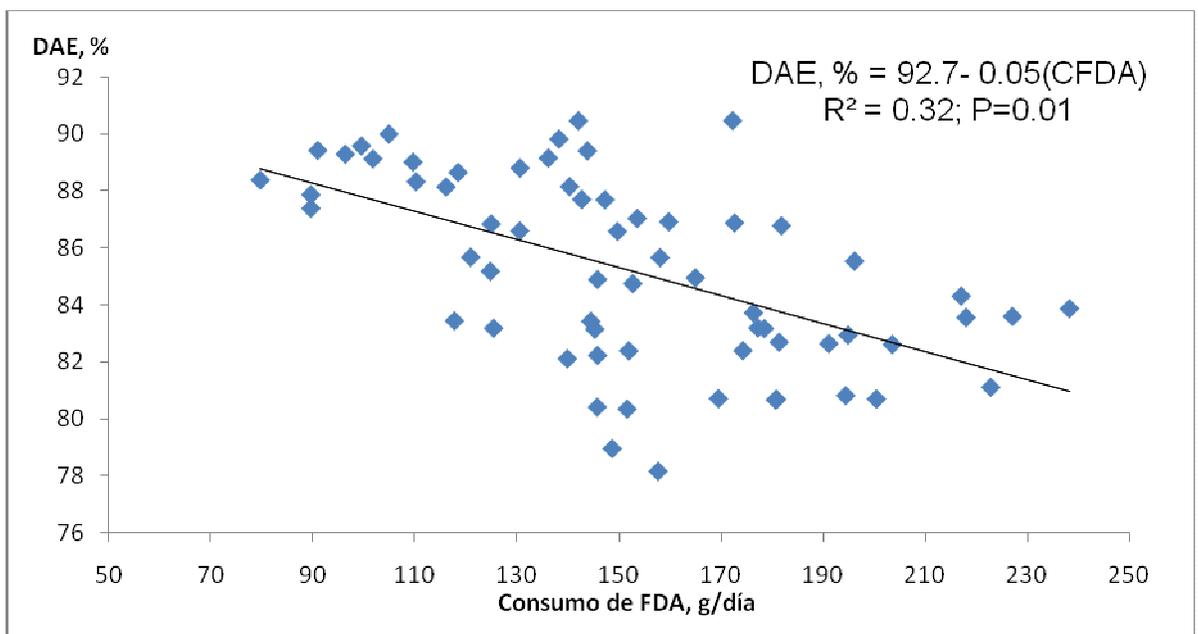


Figura 6.5.2. Efecto del consumo de fibra detergente ácido (CFDA) sobre la digestibilidad aparente de energía (DAE) en cerdas gestantes alimentadas con diferentes niveles de fibra en la dieta.

*Efecto del nivel de fibra sobre la digestibilidad aparente de la materia seca, materia orgánica y fracciones de fibra*

La digestibilidad aparente de la materia seca (DMS), materia orgánica (DMO) y fibra detergente neutro (DFDN) más bajas se observaron en las cerdas asignadas a las dietas con inclusión alta de fibra HAA, LC7 y CAR, seguidas por las dietas LC3.5 y PAT, mientras que las mayores digestibilidades se observaron en las dietas CTL, STR y PBR ( $P < 0.01$ ; Cuadro 6.5.4). Otros autores han reportado que dietas con inclusión alta de FDN redujeron la digestibilidad de la energía, el nitrógeno y por lo tanto de la materia seca en el íleon (Shulze *et al.*, 1991). Se ha reportado que la inclusión de fuentes purificadas tanto de fibra soluble como de fibra insoluble incrementaron la velocidad de pasaje de la digesta comparadas con una dieta baja en fibra, lo que causó la reducción de la digestibilidad de los componentes de la dieta. También se ha visto una relación negativa del consumo de fibra sobre la digestibilidad fecal de FDN (Holt *et al.*, 2006) y MO (Wolfart *et al.*, 2007).

La digestibilidad de la hemicelulosa (DHC) fue similar para casi todos los tratamientos siendo la dieta LC7 la única que mostró menor DHC en comparación con las dietas CRL, PB y LC3.5 y PAT ( $P < 0.01$ ) debido a que las cerdas designadas a la dieta LC7 tuvieron el mayor CHC (Cuadro 6.5.1). En el presente trabajo, se observó una correlación negativa de los consumos de FDN (i.e. celulosa, hemicelulosa y lignina) a diferencia del consumo de FDA (i.e. celulosa y lignina) que no fue significativa ( $P = 0.13$ ), por lo que la reducción de la DHC se atribuye únicamente al mayor CHC que mostró una correlación negativa entre con la DHC ( $-0.33$ ;  $P < 0.01$ , Cuadro 6.5.5). En el presente trabajo, se observó una amplia correlación negativa entre el CFDN, CFDA y CFIS sobre la digestibilidad de la fibra detergente ácido (DFDA;  $P < 0.01$ ). se observó que las dietas con mayor CFDA HAA, LC7 y CAR tuvieron las DFDA más bajas. Las cerdas asignadas a la dieta CRL mostraron la DFDA más alta ( $P < 0.01$ ).

Se ha reportado que la fibra dietaria incrementa la población de bacterias anaerobias con acción fibrinolítica del intestino grueso (Varel *et al.*, 1982) así como la actividad bacteriana (Varel *et al.*, 1987) por lo que se esperaría que el incremento en el número y actividad bacteriana incrementa la digestibilidad de la fibra dietaria. Sin embargo, Varel y colaboradores (1997) concluyeron que la mayor actividad bacteriana observada con el incremento del nivel de fibra se debe al mayor número de la población bacteriana y no a la mayor capacidad de las bacterias para fermentar los sustratos por lo que la degradación de la fibra tiene un límite. Esto explica por que el mayor CFDN, CFDA, y CFIS de las cerdas en el presente experimento disminuyó la digestibilidad de la fibra.

Por otro lado, la fibra soluble es fermentada casi en su totalidad (Wang *et al.*, 2002) debido a que al hincharse incrementa la superficie para que las bacterias actúen sobre de ella (Noblet y Le Goff, 2001) además de que la fibra soluble incrementa la retención de la digesta en el intestino grueso (Owusu-Asiedu *et al.*, 2006) lo que permite un mayor tiempo de acción de las bacterias. La hemicelulosa se puede dividir por su grado de solubilidad en dos fracciones: La fracción A que puede tener un grado de solubilidad hasta del 30% y la fracción B que puede ser solubilizada en agua en un porcentaje mayor al 96%. La proporción entre las dos fracciones de fibra varía ampliamente entre las distintas fuentes de fibra (Muralikrishna y Suba Rao., 2007). En el presente trabajo, la solubilidad de la hemicelulosa entre las dietas debió ser semejante por lo que la DHC no fue diferente entre los tratamientos.

La relación negativa encontrada entre el nivel de inclusión de la fibra y digestibilidad de FDN y FDA pudo deberse también al tiempo de adaptación a la dieta. Se ha visto que con la inclusión de fibra dietaria hay un incremento en el conteo unidades formadoras de colonias de bacterias fibrinolíticas 24 horas después de consumida la dieta (Anguita *et al.*, 2006) pero el incremento no es lineal. Varel y colaboradores (1997) mostraron que las bacterias el incremento en

la población de bacterias celulolíticas llegó a su máximo al tercer día de consumida la dieta y la actividad bacteriana al día 12, seguido de una rápida reducción casi del 50% en ambas mediciones para el día 25 para volver a elevarse paulatinamente para el día 37, hasta estabilizarse entre los días 60 y 90 de consumidas las dietas, alcanzando el nivel de los puntos máximos. Como el periodo de adaptación a la dieta dado en este trabajo fue de 19 días, la población bacteriana celulolítica y la actividad bacteriana estaba en descenso por lo que la DFDN y DFDA se vio afectada por el CFDA y CFDN.

De acuerdo con lo anterior, Rentería y colaboradores (2008) no encontraron relación entre el consumo de la fibra insoluble y la digestibilidad de la fibra insoluble en cerdas gestantes alimentadas con diferentes niveles de fibra. Lo anterior pudo deberse a que las mediciones en el trabajo citado se realizaron entres periodos, a las 5, 10 y 14 semanas de gestación, periodo en el cual, según la información presentada por Varel y colaboradores (1997), la población y actividad bacteriana iba en incremento y se estabilizó. A diferencia de las bacterias celulolíticas, la población bacteriana y actividad xilanolítica se incrementó al punto máximo en el día 3 y permaneció estable por el resto del periodo experimental, a excepción de una ligera disminución al día 25 recuperándose para el día 37. (Varel *et al.*, 1997).

En este trabajo, el incremento en el consumo de fibra detergente neutro entre 32.2 y 158.6 d/día reduce la digestibilidad de la materia seca entre 1 y 7.4 puntos porcentuales y la digestibilidad de la materia orgánica entre 3.5 y 7.4 puntos porcentuales. En cuanto a la fibra, la digestibilidad de la fibra detergente neutro disminuyó entre 8.8 y 21.2 unidades porcentuales y la digestibilidad de la fibra detergente ácido entre 19.8 y 36.8 unidades porcentuales.

CUADRO 6.5.4 EFECTO DEL TRATAMIENTO SOBRE LA DIGESTIBILIDAD DE LA DIETA Y DE LA FIBRA, %

Inclusión de fibra	Baja			Media			Alta			SEM <sup>2</sup>
	Dieta <sup>1</sup>	CRL	PBR	LC3.5	PAT	STR	HAA	LC7	CAR	
MS		88.3 <sup>a</sup>	87.3 <sup>a</sup>	85.1 <sup>b</sup>	84.1 <sup>b</sup>	88.1 <sup>a</sup>	82.1 <sup>c</sup>	81.0 <sup>c</sup>	81.4 <sup>c</sup>	0.40
MO		91.0 <sup>a</sup>	90.1 <sup>a</sup>	87.9 <sup>b</sup>	87.5 <sup>b</sup>	90.6 <sup>a</sup>	84.9 <sup>c</sup>	83.6 <sup>c</sup>	85.1 <sup>c</sup>	0.38
FDN		81.8 <sup>a</sup>	83.5 <sup>a</sup>	73.0 <sup>b</sup>	75.7 <sup>b</sup>	80.3 <sup>a</sup>	65.8 <sup>c</sup>	64.6 <sup>c</sup>	60.6 <sup>d</sup>	1.10
FDA		77.4 <sup>a</sup>	81.4 <sup>a</sup>	57.6 <sup>c</sup>	66.3 <sup>b</sup>	74.3 <sup>ab</sup>	52.3 <sup>cd</sup>	48.0 <sup>d</sup>	40.6 <sup>e</sup>	1.88
HC		85.1 <sup>a</sup>	86.6 <sup>a</sup>	86.7 <sup>a</sup>	85.2 <sup>a</sup>	82.6 <sup>ab</sup>	79.6 <sup>ab</sup>	78.4 <sup>b</sup>	81.9 <sup>ab</sup>	0.84

<sup>1</sup>CRL=control, PBR=pata de brócoli, LC3.5=lignocelulosa 3.5%, PAT=pasta de ajonjolí tostado, STR=salvado de trigo, HAA=heno de alfalfa, LC7=lignocelulosa 7%, y CAR=cascarilla arroz, <sup>2</sup>Media del error estándar. Entre columnas, medias con distinto superíndice son diferentes a un nivel de significancia de P<0.01.

Cuadro 6.5.5. Correlación entre los consumos de FDN, FDA, HC, FS y FS con la digestibilidad de FDN, FDA y HC.

Consumo	Digestibilidad, %		
	FDN	FDA	HC
FDN	-0.70 (P<0.01)	-0.68 (P<0.01)	-0.29 (P=0.01)
FDA	-0.66 (P<0.01)	-0.64 (P<0.01)	NS <sup>a</sup>
HC	-0.55 (P<0.01)	-0.54 (P<0.01)	-0.33 (P<0.01)
FIS	-0.60 (P<0.01)	-0.60 (P<0.01)	NS <sup>a</sup>
FS	0.67 (P<0.01)	0.66 (P<0.01)	NS <sup>a</sup>

<sup>a</sup>No significativo (P>0.1)

## **6.6 Conclusiones e implicaciones**

Los resultados de este trabajo mostraron que el incremento del consumo de fibra detergente neutro afectó la digestibilidad de la dieta. La digestibilidad aparente de la energía de las dietas se redujo en 2.8% ó 4.9% por cada 100 g/día de fibra detergente neutro o fibra detergente ácido que se consuman. De la misma forma, si se incrementa el consumo de fibra detergente neutro entre 32 y 158 g/día, la digestibilidad aparente del nitrógeno dietario se disminuye en 1.1 a 6.9 unidades porcentuales con respecto a un nivel de consumo de 223.8 g/día.

Sin embargo, los datos también sugieren que el mayor consumo de fibra soluble puede disminuir el efecto negativo por el incremento del consumo de fibra detergente neutro. Lo que quedó demostrado en las dietas con inclusión de pata de brócoli y salvado de trigo que tuvieron la misma digestibilidad de energía y nitrógeno dietario en comparación con la dieta control.

## 6.7 Literatura citada

Anguita M, Canibe N, Pérez JF and Jensen BB. 2006. Influence of the amount of dietary fiber on the available energy from hindgut fermentation in the growing pigs: use of cannulated pigs and in vitro fermentation. *J. Anim. Sci.* 84: 2766-2778.

Anugwa FOI, Varel VH, Dickson JS, Pond WG and Krok LP. 1989. Effects of dietary fiber and protein concentration on growth, feed efficiency, visceral organ weights and large intestine microbial population of swine. *J. Nutr.* 119: 879-886.

AOAC. Fibra dietaria total, insoluble y soluble En alimentos Método oficial 991.43, 985.29, 2000

Bach Knudsen KE. The nutritional significance of "dietary fiber" analysis. *Anim. Feed Sci Technol* 2001; 90:3-20.

Bindelle J., Buldgen A., Wavreille J., Agneesens R., destain JP., Wathelt B., and Leterme P. 2007. The source of fermentable carbohydrates influences the in vitro proteins by colonic bacteria isolated from pigs. Accepted for publication in *Animal*, 18 de junio 2007.

Denilsen V, and Vestergaard EM. 2001. Dietary fibre for pregnant sows: effect on performance and behavior. 90: 71-80.

Evans RJ. Y Butts Ha. (1948). Studies on the heat inactivation of lysine in soy bean oil meal. *J. Biol. Chem.* 175: 15-20.

Eastwood, M.A. 1992. The physiological effect of dietary fiber: An update. *Annu. Rev. Nutr.* 12:19-35.

Fastinger ND and Mahan DC. 2006. Determination of the ileal amino acid and energy digestibilities of corn distillers dried grains with soluble using grower-finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 84: 1722-1728.

Fleederus J., Bikker P. and Kluess J. W. 2007. Increasing diet viscosity using carboxymethylcellulose in weaned piglets stimulates protein digestibility. *Livestock Science*; 109: 89-92.

Holt JP, Jhonston LJ, Baibo SK and Shurson GC. 2006. Effects of a high-fiber diet and frequent feeding on behavior, reproductive performance, and nutrient digestibility in gestating sows. *J. Anim. Sci.* 84: 946-955.

Huang SX., Sauer WC and Marty B. 2001. Ileal digestibilities of neutral detergent fiber, crude protein, and amino acids associated with neutral detergent fiber in wheat shorts for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79:2388-2396.

Jensen, B.B. and H. Jørgensen. 1994. Effect of dietary fiber on microbial activity and microbial gas production in various regions of the gastrointestinal tract of pigs. *Appl. Environ. Microbiol.* 60:1897-1904.

Kyriazakis I, Whittemore CT. *Whittemore's Science and Practice of Pig Production*. 3<sup>rd</sup> ed. Blackwell publishing, 2006.

Le Goff G and Noblet J. 2001. Comparative total tract of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *J. Anim. Sci.* 79: 2418-2427.

Le Goff G, Van Milgen J, Noblet J. 2002. Influence of dietary fiber on digesta utilization and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows. *Anim Sci.* 74: 503-515

Muralikrishna G. and Suba Rao M. V. S.S. T. 2007. Cereal non-celulosic polysaccharides: structure and function relationship. An overview. *Food. Sci. and Nutr.* 47: 599-610.

Noblet J, Dourmad JY and Etienne M. 1990. Energy utilization in pregnant and lactating sows: modeling of energy requirements. *J. Anim. Sci.* 68: 562-572

Noblet J., Fortune H., Shi XS. And Dubois S. 1994. Prediction of energy values of feed for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72: 344-354.

Noblet J and Le Goff G. 2001. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 90: 35-52.

Noblet J. and Perez LM. 1993. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. *J Anim Sci* 71:3389-3398

Noblet J and Shi XS. 1993. Comparative digestibility of energy and nutrients in growing pigs fed ad libitum and adult sows fed at maintenance. *Livestock production Science.* 34:137-152.

Noblet J. and Van Milgen J. 2004. Energy value of pig feeds: Effect of pig body weight and energy evaluation system. *J. Anim. Sci.* 82 (E. Suppl.) E229-E238.

NRC. *Nutrients Requirements of Swine*. 10th revised. Washington DC. National Research Council, 1998.

Owusu-Asiedu A, Patience J. F, Laarveld B, Van Kessel A. G, Simmins P. H, Zijlstra R. T. 2006. Effects of guar gum and cellulose on digesta passage rate, ileal microbial population, energy and protein digestibility, and performance of grower pigs. *J. Anim. Sci.* 84:843-852.

Prosky, I., N. G. Asp, T. F. Schweizer, J. W. Devires, and I. Fruda. 1985. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 71:1017-1023.

Prosky, I., N. G. Asp, T. F. Schweizer, J. W. Devires, and I. Fruda. 1988. Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 71:1017-1023.

Ramonet Y, Meunier-Salaün MC and Dourmad LY. 1999. High-fiber diets in pregnant sows: digestive utilization and effects on behavior of the animals. *J. Anim. Sci.* 77: 591-599

Ramonet Y, Robert S, Aumaître A, Dourband JY, Meunier-Salaün MC. 2000. Influence of the nature of dietary fibre on digestive utilization, some metabolite and hormone profiles and the behaviour of pregnant sows. *J. Anim. Sci.* 70:275-286

Renteria-Flores J. A, Johnston L. J, Shurson G. C. and Gallaher D. D. Effect of soluble and insoluble fiber on energy digestibility, nitrogen retention, and fiber digestibility of diets fed to gestating sows. *J. Anim. Sci.* 2008; 86: 2568-2575.

Shi, X. S., and J. Noblet. 1994. Effect of body weight and feed composition on the contribution of hindgut digestion of energy and nutrients in pigs. *Livest. Prod. Sci.* 38:225–235.

Schulze H., Van leeuwen P., Verstegen MWA., Huisman J., Souffrant WB and Ahrens F. 1994. Effect of level on ileal apparent digestibility and ileal nitrogen losses in pigs. *J. Anim. Sci.* 72: 2362-2368.

Serena A, Jorgensen H and Bach Knudsen KE. 2008. Digestion of carbohydrates and utilization of energy in sows fed diets with contrasting levels and physicochemical properties of dietary fiber. *J. Anim. Sci.* 86: 2208-2216.

Stein HH, Kim SW, Nielsen TT and Easter RA. 2001. Standardized ileal protein and amino acid digestibility by growing pigs and sows. *J. Anim. Sci.* 79: 2113-2122.

Stein HH, Seve B, Fuller MF, Moughan PJ and de Lange CFM. 2007. Invited review: Amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: terminology and application. *J. Anim. Sci.* 85: 172-180.

Van Soest, P. J. 1963a. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. I. Preparation of fiber residues of low nitrogen content. *J. A.O.A.C.* 46:825-829.

Van Soest, P. J. 1963b. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II.a rapid method for the determination of fiber and lignin. *J. A. O. A. C.* 46:829-835.

Varel VH., Pond WG., Pekas JC. And Yen JT. 1982. Influence of high-fiber diet on bacterial populations in gastrointestinal tracts of obese- and lean-genotype pigs. *Appl. And Envirom. Microbil.* 44(1):107-112.

Varel VH., Robinson IM. And Jung HJG. 1987. Influence of dietary fiber on xilanolytic and cellulolytic bacteria of adult pigs. *Appl. And Envirom. Microbial.* 53(1):22-26.

Varel VH. and Yen JT. Microbial Perspective on Fiber Utilization by Swine. *J Anim Sci* 1997, 75: 2715

Viulle TC, Le Pape G, Signoret JP. 1995. Stereotypes in pregnant sows: indications of influence of the housing systems on the patters expressed by the animals. *Ap. Anim. Behav. Sci.* 44: 19-27.

Wang JF., Jensen BB., Jorgensen H., Li DF and Lindberg JE. 2002. Ileal and total tract digestibility, and protein and fat balance in pigs fed with addition of potato starch, sugar beet pulp or wheat bran. *Anim. Feed Sci. And Tech.* 102:125-136.

Wang JF., Zhu YH., Li DF., Wang M. and Jensen BB. 2004a. Effect of type and level of dietary fibre and starch on ileal and fecal microbial activity and short-chain fatty acid concentrations in growing pigs. *Anim. Sci.* 78:109-117.

Wang JF., Zhu YH., Li DF., Wang M. and Jensen BB. 2004b. in vitro fermentation of various fiber and starch sources by pig fecal inocula. *J. Anim. Sci.* 82: 2615-2622.

Wenk Caspar. 2001. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Anim. Feed Sci. Technol.* 90:21-33.

Wilfart A, Montage L, Smmins PH, Van Milgen J, Noblet J. 2007. Sites of nutrient digestion in growing pigs: Effect of dietary fiber. *J. Anim. Sci.* 85: 976-983.

Zervas S. and Zijlstra R. T. effect of dietary protein and oat hull fiber on nitrogen excretion patterns and postprandial plasma urea profiles in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 2002; 80: 3238-3246.

## 7. CONCLUSIONES

En la región del bajío existe una gran variedad de subproductos y esquilmos de origen agroindustrial. Sin embargo, la disponibilidad de la mayoría de estos subproductos o esquilmos no es suficiente como para poder ser utilizados por la industria porcícola de la zona, ya sea por que su oferta es reducida como la cáscara de cacahuete, desperdicio de fritura, pasta de cártamo y los desechos de lechuga, y col, y los bagazos de manzana o uva, o por que ya tienen una gran demanda tanto para el consumo humano como para su uso en la alimentación de los animales como los subproductos del trigo, del maíz, del arroz y de los granos de oleaginosas como el cártamo y la canola.

Entre los subproductos y esquilmos con mayor disponibilidad se identificó la pasta de ajonjolí tostado, subproducto derivado de la extracción de aceite de ajonjolí. Este subproducto tiene una disponibilidad real de al rededor de 28 000 toneladas anuales que son generadas por la empresa Sesajal S. A. ubicada en la ciudad de Guadalajara, Jalisco. Los esquilmos derivados de la conservación de hortalizas generados en gran volumen son la pata de brócoli y el recorte de la coliflor que tienen una disponibilidad real de 13400 y 1800 toneladas anuales, respectivamente y se estima que se su disponibilidad incrementará anualmente en 3% para la pata de brócoli y 2.2% para el recorte de coliflor, para que en el 2020 la disponibilidad sea de 23 731 y 2000 toneladas, respectivamente.

En general, se mostró que el incremento en el consumo de fibra detergente neutro disminuye la digestibilidad aparente de la energía y proteína, así como de las fracciones de fibra de la dieta (FDN y FDA). Aunque la composición de la fibra afectó de diferente forma y grado la digestibilidad aún entre dietas con el mismo nivel de fibra. También se mostro que el mayor consumo de fibra soluble puede

reducir el efecto detrimental de la fibra sobre la digestibilidad de la energía y el nitrógeno.

Es factible el uso de ingredientes no tradicionales con alto contenido de fibra en la dieta de cerdas adultas como la pata de brócoli y la pasta de ajonjolí tostado si al formular las dietas se toma en cuenta el efecto sobre la digestibilidad de la dieta que pudiera causar la inclusión de estos ingredientes, pudiendo usar como variables de predicción el consumo esperado de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido.

También se concluye que es necesario un mayor entendimiento del impacto de la fibra sobre la fisiología gastrointestinal, así como su efecto sobre la productividad de las cerdas adultas para poder hacer uso puntual de ingredientes fibrosos en la dieta de las cerdas.