



Revista Cubana de Ciencia Agrícola

ISSN: 0034-7485

rcca@ica.co.cu

Instituto de Ciencia Animal

Cuba

Savón, Lourdes
Alimentos altos en fibra para especies monogástricas. Caracterización de la matriz fibrosa y sus
efectos en la fisiología digestiva
Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 36, núm. 2, 2002, pp. 91-102
Instituto de Ciencia Animal
La Habana, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193018119001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Alimentos altos en fibra para especies monogástricas. Caracterización de la matriz fibrosa y sus efectos en la fisiología digestiva

Lourdes Savón

Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24. San José de las Lajas, La Habana

En los últimos años en los países tropicales se ha incrementado la utilización de fuentes fibrosas (harinas de follaje de leguminosas y gramíneas) en especies monogástricas, como una alternativa alimentaria de bajo costo y además no compite con los alimentos destinados al hombre. En esta reseña se analizará la caracterización de la matriz fibrosa de estas fuentes, que incluye el origen, la composición química, las propiedades físicas y su repercusión en el fisiologismo digestivo de los animales que las consumen.

Palabras clave: *fibra dietética, fisiología digestiva, monogástricos.*

INTRODUCCION

El uso de materias primas alternativas en la alimentación animal, para sustituir importaciones, reducir la competitividad con la alimentación humana y preservar el ambiente constituye un reto para los nutricionistas, pequeños y medianos productores en la búsqueda de soluciones para lograr producciones avícolas, porcinas y cunícolas ecológicamente sostenibles y eficientes (Montilla 1994, Lon Wo 1995 y Belmar-Casso 1998).

En las zonas tropicales hay una amplia variedad de recursos disponibles que se pueden utilizar en la alimentación de especies monogástricas, entre los que se incluyen fuentes voluminosas con alto contenido fibroso. Se han estudiado ampliamente los alimentos fibrosos destinados a la alimentación humana (Periago *et al.* 1993). Sin embargo, con respecto a los destinados a la alimentación animal hay aspectos que no se han analizado o se conocen poco como por ejemplo:

1. El valor nutritivo y la caracterización de estos alimentos que son fundamentales para poder utilizar la fibra eficientemente (origen, composición química, morfológica y estructural, propiedades físico-químicas), así como el contenido de factores antinutricionales.

2. La interacción de estos factores y sus efectos en los procesos digestivos y en el fisiologismo animal que pueden limitar su incorporación a las dietas.

3. La optimización del uso de las fuentes fibrosas (nivel de fibra, especie, raza y categoría animal)

4. El mejoramiento del potencial energético de estas fuentes fibrosas y su contribución al metabolismo animal.

El análisis de los dos primeros aspectos y las técnicas empleadas en su evaluación constituyen los objetivos de esta reseña, los restantes implican la utilización de fuentes alternativas altas en fibras en las dietas de especies monogástricas y sus perspectivas futuras serán presentadas en otro trabajo.

¿COMO VALORAR LA UTILIZACION DE UNA FUENTE ALTA EN FIBRA EN LA ALIMENTACIÓN DE MONOGASTRICOS?

Según Rodríguez (1994) para incluir cualquier materia prima alternativa en la práctica productiva es necesario conocer las características analíticas del producto, su repercusión en la fisiología digestiva del animal y mediante técnicas adecuadas evaluar, interactuar, modificar y reevaluar el producto sucesivamente hasta lograr que se aproveche óptimamente.

La evaluación de una fuente alta en fibra comprende la determinación de su valor nutritivo y la caracterización de su fracción fibrosa.

El valor nutritivo de un alimento depende del consumo del alimento en cuestión y del grado en que la materia seca suministrada por

éste proporcione cantidades de energía, proteína, minerales y vitaminas a la dieta, para cubrir las necesidades del animal.

En la tabla 1 se señala la composición bromatológica de algunos follajes de leguminosas, gramíneas y otras plantas, así como residuos de cosechas agrícolas.

La composición bromatológica de estos productos fibrosos no refleja su valor nutritivo potencial. Los factores que se han asociado con la disminución de la calidad nutricional de estas fuentes y por tanto con su utilización son: la presencia de fibra dietética y los denominados factores antinutricionales.

Tabla 1. Composición bromatológica de las fuentes fibrosas (% MS)

| Fuente fibrosa | Indicadores | | | | | | Autores |
|-----------------------------------|-------------|------|------|------|-----------------|---------|--------------------------------------|
| | MS | PB | PV | FB | Extracto etereo | Cenizas | |
| Follaje de leguminosas | | | | | | | |
| <i>Vigna unguiculata</i> | – | 18.5 | 14.0 | 34.0 | 2.5 | 8.5 | Díaz y Padilla (1997) Díaz (2001) |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | | 22.0 | 14.0 | 30.0 | 2.5 | 9.5 | Díaz y Padilla (1997) Díaz (2001) |
| <i>Stizolobium aterrimum</i> | – | 17.5 | 14.0 | 30.0 | 2.5 | 6.5 | Díaz y Padilla (1997) Díaz (2001) |
| Follaje no leguminosas | | | | | | | |
| <i>Manihot esculenta</i> | 15.3 | 24.2 | – | 20.7 | 6.4 | – | Buitrago (1990) |
| <i>Ipomea batata</i> | 10.8 | 18.5 | – | 10.2 | 3.7 | – | Domínguez (1990) |
| <i>Musa paradisiaca</i> | 19.5 | 11.4 | – | 28.9 | – | 10.8 | García (1996) |
| Residuos de cosecha | | | | | | | |
| Harina de cítricos (deshidratada) | 86.6 | 5.6 | – | 12.2 | 1.05 | – | Ponce de León <i>et al.</i> (1997) |
| Cáscara de café | 88.5 | 11.2 | – | 18.9 | 2.3 | 12.3 | Fialho y Pinto (1997) |

¿QUE ES LA FIBRA DIETETICA?

Se puede considerar que las paredes celulares de las plantas son las fuentes principales de consumo de fibra dietética en la mayoría de los alimentos. Esto permite definir la fibra desde el punto de vista nutricional como una fracción heterogénea cuyos componentes son re-

sistentes a la actividad enzimática del tracto gastrointestinal. Entre ellos se destacan cinco componentes mayoritarios: los polisacáridos estructurales que constituyen las paredes celulares de los vegetales que son los homopolisacáridos (celulosa) y los heteropolisacáridos

(hemicelulosa y pectina) que forman los carbohidratos insolubles llamados polisacáridos no almidones, las gomas (polisacáridos de reserva) y la lignina, compuesto fenólico que une los grupos anteriores. También se hallan presentes alginatos, xiloglucanos, dextrana, inulina, glucanos y polisacáridos no sintéticos, así como pequeñas cantidades de proteína, polifenoles de alto peso molecular, cutinas, ácido fítico y almi-

dón resistente (Periago *et al.* 1993 y Polty 1996)

Es importante tener en cuenta que la fibra dietética no es una simple suma de compuestos aislados, sino que es una unidad biológica. Según el tipo de planta o alimento, variará la presencia o proporción en que éstos se combinan entre sí con sus propiedades intrínsecas que a la vez influirán de manera importante en la fisiología digestiva de los animales.

CARACTERÍSTICAS DE LA MATRIZ FIBROSA

La complejidad de la matriz fibrosa de los alimentos dificulta su caracterización. En un taller realizado en Holanda (1998) por el proyecto PROFibra de la Comunidad Económica Europea, se planteó que la caracterización de la fibra dietética comprendía el conocimiento de la composición química de los componentes de la pared celular (estructura primaria), de los aspectos estructurales de los polisacáridos constituyentes (estructura secundaria) y de la denominada estructura terciaria o arquitectura de la fibra, que se refiere a la relación estructura y comportamiento funcional de los componentes de la pared celular y sus efectos fisiológicos. Esta estructura ha sido poco explorada y constituye la principal limitación para conocer el comportamiento de la fibra dietética en los alimentos durante el tránsito digestivo.

No obstante, el primer reto al que se enfrentan los fisiólogos para lograr una mejor comprensión acerca del papel de la fibra en las especies monogástricas es encontrar técnicas analíticas apropiadas que permitan estudiar la composición química de la fibra dietaria. En la tabla 2 se muestra un resumen de los principales métodos utilizados.

Los métodos enzimáticos gravimétricos y/o enzimáticos-químicos al representar los procesos digestivos que tienen lugar en el tracto, permiten determinar con más exactitud el contenido de fibra dietética en los alimentos.

Por otra parte, en las especies monogástricas la fibra dietética no se clasifica sólo atendiendo a su composición, sino al grado de solubilidad en agua con lo que se asumen los conceptos de fibra dietética soluble e insolu-

ble. Estas fracciones se caracterizan por tener efectos fisiológicos diferentes (figura 1). Debido a éstos, constituye una necesidad conocer sus componentes cualitativa y cuantitativamente para predecir desórdenes nutricionales y de salud.

Mastrapa *et al.* (1996) y Savón *et al.* (1999) coinciden al afirmar que la composición química de la pared celular puede variar según la naturaleza y origen de la fibra. Éstos últimos caracterizaron la pared celular de las harinas de follajes tropicales, las compararon con el maíz y la alfalfa y encontraron que la fibra dietética total de las harinas del follaje de plátano y canavalia duplicaron el valor informado para la alfalfa (tabla 3).

Otro aspecto fundamental es la determinación de la estructura de los componentes de la pared celular de la fibra como demostrara Marrero (1998) con alimentos fibrosos no convencionales. Así, al comparar la fibra neutro detergente de la harina de caña con el maíz y otro producto obtenido por procesamiento biotecnológico de la harina de caña (Saccharina) mediante microscopía electrónica y procesamiento digital de imágenes, observó que el tipo de fuente y el procesamiento tecnológico influían en la estructura de la fibra. Además, las fuentes no convencionales tuvieron un mayor contenido de esclerénquima, como se ha descrito en otras harinas y forrajes tropicales, lo que sugiere un mayor grado de madurez o engrosamiento de la planta que puede hacer menos aprovechable la harina de caña con respecto al maíz.

Savón (2000) estudió los grupos funcionales de la fibra neutro detergente de harina de follaje de *Vigna unguiculata* y la de la harina de follaje de alfalfa mediante espectroscopía infrarroja y hallaron una gran similitud en las absorciones debido a la presencia de polisacáridos (celulosa) pero las absorciones del grupo éster fueron más intensas en la alfalfa mientras que la *Vigna unguiculata* vc. Habana 82 las presentó para el grupo amida, quizás debido a la unión de la fracción fibrosa a la proteína.

Lester *et al.* (2000) utilizaron la espectroscopía infrarroja cercana de reflectancia (NIRS) para estudiar la composición y clasificación de la *Gliricidia provenacea* con buenos resultados.

Con respecto a la estructura terciaria que determina la relación estructura- función de los componentes de la pared celular y sus efectos fisiológicos (Mc Doughall *et al.* 1996), el problema se centró en las técnicas físicas disponibles para el estudio de la matriz fibrosa y sus propiedades en el sitio de acción propuesto. En la actualidad, se han manejado dos técnicas para estudiar la arquitectura de la fibra: la espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN) (Gidley 1998) y la adsorción de gases y análisis de imágenes para medir la porosidad y el área disponible (Chesson 1997). Estos métodos se han investigado en alimentos fibrosos convencionales y hasta el momento no se ha realizado ningún trabajo en fuentes fibrosas no convencionales.

Tabla 2. Métodos utilizados para la determinación de fibra y su especificidad relativa al método de Prosky *et al.* (1984)

| Método | Indicadores determinados | % del nivel teórico estimado | | | | Relación a FD _{total} |
|--|--|------------------------------|--------------|---------|---------|--------------------------------|
| | | Celulosa | Hemicelulosa | Lignina | Pectina | |
| Fibra bruta (Herrera <i>et al.</i> 1980) | Celulosa, lignina, hemicelulosa | 75 | 25 | 50 | 0 | Menos |
| Fibra neutro detergente (FND) (Goering y van Soest 1970) | Celulosa, lignina, hemicelulosa y pectina | 100 | 75 | 100 | 0 | Menos |
| Fibra ácido detergente (FAD) (Goering y van Soest 1970) | Celulosa, lignina, hemicelulosa | 100 | 75 | 100 | 0 | Menos |
| Enzimático gravimétrico (Prosky <i>et al.</i> 1984) | Fibra dietética total soluble e insoluble | Método de referencia | | | | |
| Enzimático químico (Englyst 1989) | Determina y diferencia los polisacáridos de la fibra dietética | 100 | 100 | 100 | 100 | Más |

Fuente: Scheeman y Gallaker (1989) y Savón y González (1996)

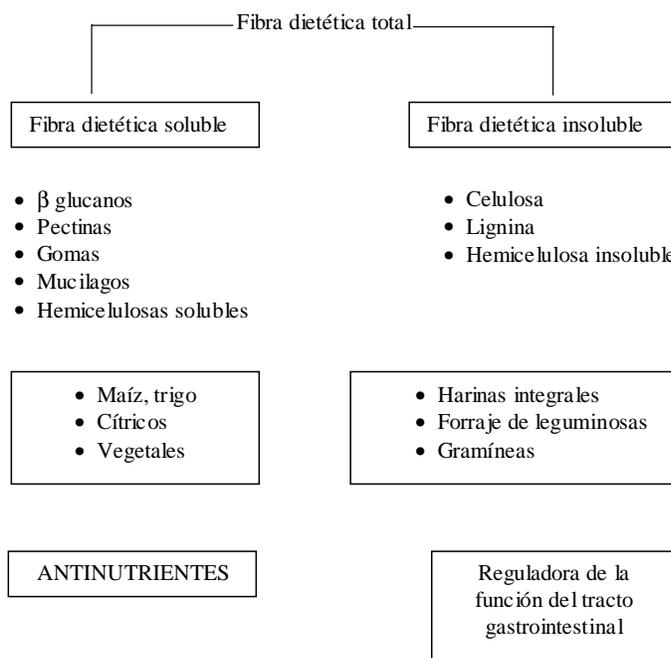


Figura 1. Clasificación de la fibra dietética, fuentes de procedencia y principales efectos fisiológicos (Tomado de Potty 1996)

Tabla 3. Fraccionamiento de la fibra dietaria en harinas de follajes tropicales

| Fuente fibrosa | FD _{total} | FB | FND | FAD | Lignina | Celulosa | Hemicelulosa |
|-----------------------------|---------------------|-------|-------|-------|---------|----------|--------------|
| <i>Medicago sativa</i> | 39.87 | – | 27.61 | 25.54 | 7.75 | 12.09 | 5.87 |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | 74.05 | 30 | – | 46.17 | 11.92 | 35.08 | 17.46 |
| <i>Lablab purpureum</i> | 69.92 | 32 | 52.79 | 41.08 | 12.20 | 31.07 | 16.12 |
| <i>Vigna unguiculata</i> | | | | | | | |
| Variedad Habana 82 | 48.89 | 25.56 | 43.46 | 38.28 | 9.9 | 19.32 | 14.58 |
| Variedad Trópico | 57.81 | – | 40.13 | 27.71 | 6.34 | 22.12 | 11.44 |
| <i>Musa paradisiaca</i> | 71.08 | 43.2 | 68.57 | 40.64 | 6.05 | – | 27.83 |
| <i>Tricantera gigantea</i> | 45.26 | – | 35.33 | 27.26 | 10.76 | 15.61 | 6.76 |
| <i>Zea mays</i> | 28.02 | – | 27.36 | 13.20 | 2.73 | 13.21 | 14.16 |

Fuente: Savón *et al.* 1999

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LA FIBRA DIETÉTICA

Los mecanismos específicos por los que la fibra dietética actúa sobre diversas funciones gastrointestinales y metabólicas no se han aclarado ni demostrado totalmente.

Se considera que las propiedades físicas de la FD son una de las causas principales de

los efectos fisiológicos que se producen al administrar los alimentos fibrosos a los animales monogástricos. Por esto, la determinación de estas propiedades tiene un valor preponderante, aunque no único, en la predicción de la influencia de las funciones del tracto gastro-

intestinal de los animales (Ruíz 1991, Southgate 1998 y Bach-Knudsen 2001)

La calidad de la fibra se modifica considerablemente por sus propiedades físicas, las que pueden ser independientes de su composición química. Factores como el tamaño de partículas, el volumen, la solubilidad y las propiedades de superficie, así como la capacidad de adsorción de agua, capacidad tampón, capacidad de intercambio catiónico, la viscosidad y la fermentabilidad, pueden influir en procesos biológicos como el consumo y digestión de nutrientes (Casper 2001). De ahí, la importancia de su determinación, si se pretende introducir alimentos altos en fibra en la alimentación de aves y cerdos, aunque en la literatura consultada no existe ningún trabajo al respecto.

Recientemente, Savón *et al.* (1999) recopilaron, modificaron y validaron las técnicas para determinar algunas propiedades físico químicas de alimentos fibrosos y las utilizaron en el análisis de fuentes tropicales no convencionales. Los resultados se muestran en la tabla 4. En general se observó un aumento del volumen de la fibra y de la capacidad de absorción de agua en las fuentes no convencionales respecto al maíz, lo que demuestra que estos alimentos tienen menor probabilidad de solubilizarse en agua y su mayor capacidad de adsorción de agua pudiera favorecer la fibra, porque la humedad facilita la hidrólisis de las enzimas celulasas.

Con relación a las aves y cerdos, las características señaladas podrían afectar el tiempo

Tabla 4. Propiedades físicas de la fibra dietaria de fuentes fibrosas tropicales

| Fuente fibrosa | Solubilidad, % | Volumen, mL/g | Capacidad de absorción de agua, g/g | Capacidad tampón meq. ácido | Capacidad de intercambio catiónico, meq/g FND | Capacidad de intercambio catiónico, meq/g FND |
|---|-------------------|------------------|---|--------------------------------|--|--|
| Leguminosas | | | | | | |
| <i>Medicago sativa</i> | 26.5 | 3.1 | 7.49 | 0.36 | 0.53 | — |
| <i>Canavalia ensiformes</i> | | | 6.58 | 0.30 | 0.35 | — |
| <i>Labiab purpurea</i> | 22.50 | 3.93 | 6.06 | 0.30 | 0.36 | — |
| <i>Vigna unguiculata</i> | | | | | | |
| Variedad Habana 82 | 22 | 2.35 | 7.84 | 0.20 | 0.02 | — |
| <i>Leucaena leucocephala</i> | | | | | | |
| Variedad Perú | 16.02 | 1.89 | 5.52 | — | — | 5.51 |
| <i>Cajanus cajan</i> | 18.58 | 4.75 | 6.08 | — | — | — |
| Gramineas | | | | | | |
| <i>Brachiaria decumbens</i> | 16.55 | 4.70 | 7.78 | — | — | 0.89 |
| <i>Saccharum officinarum</i> | | | | | | |
| Variedad Jaronú 62 | 39.00 | 7.94 | 6.99 | 0.30 | 0.64 | 0.20 |
| Otras fuentes fibrosas | | | | | | |
| <i>Centrosema pubescens B.</i> | 21.32 | 3.43 | 6.82 | — | — | — |
| <i>Trichantera gigantea</i> | — | 2.31 | 5.57 | — | — | — |
| <i>Zea mays</i> | 49.50 | 1.71 | 1.39 | — | — | 0.63 |
| Harina de cítricos | 22.00 | 2.42 | 7.45 | — | — | — |
| Alimentos producidos por vía biotecnológica | | | | | | |
| Saccharina | 23.00 | 7.01 | 7.57 | 0.33 | 0.51 | 0.19 |
| Citroína | 25.50 | 2.27 | 6.53 | — | — | — |

medio de retención de las digestas, a través de un efecto mecánico o laxativo en el tracto gastrointestinal con un aumento del peso y

volumen de las excretas (Sosulski y Cadden 1982, Eastwood 1992).

LA FIBRA DIETETICA Y SUS EFECTOS FISIOLOGICOS EN EL TGI DE AVES Y CERDOS

El conocimiento de las propiedades físico químicas de la fibra dietética y sus implicaciones en la fisiología digestiva de los animales permite optimizar su utilización en la dieta.

Se ha planteado que la fibra dietética, a través de las propiedades físico químicas de sus componentes solubles e insolubles puede ejercer varios efectos fisiológicos a lo largo del tracto gastrointestinal de aves y cerdos. La magnitud con que esto tiene lugar depende de la forma física y naturaleza química (fuente y procedencia), tipo de fibra de que se trate, procesamiento a que fue sometida, además de la adaptación y características del animal (edad y peso vivo). Los efectos fisiológicos más importantes son el efecto en el consumo voluntario, en las secreciones digestivas y absorción en el tránsito intestinal y en el metabolismo lipídico. Un resumen de lo anterior se muestra en la tabla 5.

Así, la inclusión de fibra en las raciones de aves y cerdos generalmente produce un incremento en el consumo de alimento para mantener el consumo de energía digestible. Sin embargo, el conocido efecto de limitación en el consumo con altas concentraciones de fibra se atribuye a la voluminosidad de estas raciones y a la capacidad de retención de agua de las porciones solubles de la fibra. Esto último pudiera alterar los estímulos que regulan el consumo de alimento (Cole y Chad 1989, Ruiz *et al.* 1999).

Los efectos de la fibra dietética en las secreciones digestivas son considerables. Trabajos clásicos de Zebrowska *et al.* (1983) y Low (1989) refirieron incrementos en las producciones biliares y pancreáticas de los cerdos que recibieron dietas altas en fibra. Las secreciones pancreáticas se acompañaron de una mayor producción de electrolitos y una

Tabla 5. Propiedades físicas de la fibra dietética y posibles mecanismos involucrados en la modificación de los estados fisiológicos de asimilación

| Proceso fisiológico | Propiedades de la fibra dietética | Mecanismo de acción |
|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| Consumo | Volumen | Mecánico |
| | Capacidad de adsorción de agua | Viscosidad |
| | Dilución energética | Sabor hormonal |
| Velocidad de tránsito | Volumen | Mecánico |
| | Tamaño de partículas | Viscosidad |
| | Capacidad de adsorción de agua | hormonal |
| Hidrólisis enzimática y absorción | Capacidad de adsorción de agua | Viscosidad |
| | Capacidad de intercambio catiónico | Adsorción |
| | Arquitectura | hormonal |
| | Carácter hidrófobo | |
| Actividad microbiana | Relación | Velocidad de tránsito |
| | Hemicelulosa | |
| | Celulosa | Crecimiento microbiano |
| | Estructura de la pared celular | |
| | Capacidad de intercambio catiónico | Potencial fermentativo |

Fuente: Graham (1988).

mayor actividad de las proteasas y amilasas. Los mecanismos por los que pueden influir las secreciones digestivas están relacionados con la voluminosidad de la digesta y la capacidad de retención de agua, aunque también se plantea un control hormonal, a través de la secretina. También, Souffrant (2001) determinó las pérdidas endógenas de nitrógeno en los cerdos.

Ciertos tipos de fibra dietética aumentan la viscosidad de la ración y de los contenidos intestinales y ocasionan un incremento en la secreción del nitrógeno endógeno constituido por proteína y DNA. Esto sugiere una exfoliación de las células de la mucosa intestinal debido a una erosión mecánica.

Por otra parte, las fuentes fibrosas pueden alterar el tránsito intestinal en diferentes secciones del tracto gastrointestinal en dependencia de su habilidad para formar geles (Aumaitre 2001). Se ha demostrado que la fibra dietética soluble afecta la motilidad intestinal y retrasa el paso de la digesta en el intestino. Esto no parece ofrecer beneficio alguno, ya que sus propiedades hidrófobas y adsorptivas retardan la digestión y absorción de los nutrientes (Periago *et al.* 1993). En tanto, la fibra dietética insoluble puede acelerar el tránsito intestinal. Esta aceleración disminuye el tiempo disponible para la digestión y la absorción de nutrientes por lo que restringe su utilización. Así, los efectos de la fibra dietética insoluble (FDI) en la motilidad intestinal dependen de su nivel en la dieta y el tipo de fuente. Un alto consumo, por lo general, reduce el tiempo de tránsito, lo que se atribuye a un aumento de su motilidad, debido a que las celulosas según Cherbut *et al.* (1994) son las responsables de agrupar las contracciones en el complejo mioeléctrico. Se puede decir que existe una relación directa entre el contenido de FDI en la dieta (principalmente hemicelulosa y celulosa) y la velocidad con la que los nutrientes transitan por el TGI.

El incremento en el tránsito intestinal por la presencia de fibra se halla íntimamente relacionado con el tamaño de partículas. De manera que una reducción en el tamaño de partículas o en el volumen de las fuentes fibrosas dismi-

nuye la velocidad de tránsito de las digestas en el TGI del ave.

Marrero (1998) evaluó en un experimento *in vivo* el efecto de las características de la FND de los alimentos no convencionales altos en fibra (la harina de caña fresca o biofermentada por un proceso biotecnológico sencillo: Saccharina) en la velocidad del tránsito intestinal del pollo de ceba. Como resultado observó efectos del tipo de fuente fibrosa en el tiempo medio de retención (TMR) de las partículas, el que disminuyó de manera significativa en la Saccharina con respecto a la harina de caña.

Otro aspecto interesante es que en este experimento las dietas se formularon a partir del consumo de FB y en un mismo intervalo de tiempo, el consumo de las fuentes fibrosas varió entre tratamientos (tabla 6). Estas variaciones no tuvieron repercusión en la FB, pero sí en la FND, lo que sugiere que al formular piensos avícolas que incluyan alimentos altos en fibra, se debe considerar este indicador en el aporte de nutrientes en la ración y no la FB.

Se ha comprobado que la fermentación desarrolla un efecto fisiológico en el TGI. (Periago *et al.* 1993). Existe una relación inversa entre la fermentación de la fibra y el volumen fecal. A menor digestibilidad y fermentabilidad se obtendrá un mayor volumen y peso de las heces. La utilización de fibras más degradables con menor retención de agua es favorable para la disminución del volumen fecal, por lo que es necesario conocer la forma física del alimento.

Las dietas ricas en polisacáridos no almidón (PNA) provocan modificaciones en la morfología intestinal, tanto en el cerdo como en las aves (Iji *et al.* 2001). En dependencia de la fuente se puede alterar la longitud y el número de vellosidades en el intestino, así como la velocidad de proliferación celular. En el pollo, por lo general, la inclusión de FDS provoca un aumento del recambio celular. La fibra dietaria puede afectar el tamaño y el peso del intestino. Los mecanismos no se conocen del todo, pero se cree que ocurren a partir de un estímulo mecánico directo en la mucosa o por efectos bioquímicos (Taverner *et al.* 1981).

Tabla 6. Efecto de las dietas experimentales en el consumo y tiempo medio de retención de los alimentos en el pollo de ceba

| Indicadores | Tratamientos | | | Sig. |
|------------------------------|--|---|---|------|
| | Almidón, maíz, soya descascarada | Almidón, maíz, harina de caña, soya descascarada | Almidón, maíz, Saccharina, soya descascarada | |
| Consumo de MS, g/d | 114.32 ^c | 117.38 ^b | 122.02 ^a | *** |
| Consumo de FB, g/d | – | 7.31 | 7.60 | |
| Consumo de FND, g/d | – | 10.65 | 12.84 | |
| Excreción de MS, g | 90.72 | 84.79 | 86.66 | |
| Tiempo medio de retención, h | 15.05 ^c | 16.95 ^a | 16.07 ^b | *** |

^{ab}Medias con letras distintas por fila son estadísticamente diferentes (Duncan 1955)

*** P < 0.001

Fuente: Marrero (1998)

La fibra dietética en los piensos de los pollos origina un alargamiento de los ciegos, según Eastwood (1992) es la respuesta de un ajuste fisiológico normal provocado por el aumento del tiempo de permanencia de la misma en estos órganos y de la masa microbiana y productos finales de la fermentación.

Hansen *et al.* (1992) y Zhao *et al.* (1995) demostraron que los cerdos que consumen dietas altas en fibra presentan un incremento del peso del hígado, riñón y segmentos vacíos del TGI con relación al peso corporal. Estos resultados se han confirmado en dietas no convencionales altas en fibra, tanto en aves como en cerdos en diversos experimentos realizados por Ly *et al.* (1996), Marrero (1998) y Savón (2000).

Con relación a las dietas fibrosas y la microflora del TGI de aves y cerdos se ha planteado que en dependencia de la fuente, la presencia de fibra dietética provoca un aumento en la concentración de bacterias celulolíticas que a la vez se incrementaron a expensas de otros microorganismos. Este comportamiento es el signo más importante de adaptación en la utilización de la fibra. Contrariamente, las bacterias viables pueden no afectarse por la presencia de fibra. En general, hay más de 500 especies de bacterias celulolíticas en los cie-

gos y colon de aves, cerdos y conejos cuya actividad depende de los residuos no digeribles en esta zona, entre los que se encuentran almidones, carbohidratos y grasas (Varel y Pond 1985).

En los últimos años se ha señalado la presencia de hongos celulolíticos y protozoos en el intestino grueso de especies monogástricas que reciben dietas fibrosas. Rodríguez *et al.* (1996) lograron aislar hongos celulolíticos en el ciego de pollos, a los que se les suministraba una dieta de pienso con niveles crecientes de un alimento alto en fibra (Saccharina). Como resultado se comprobó que existía una relación lineal entre el número de hongos celulolíticos ($r=0.72$, $P < 0.001$) y el nivel de fibra en la dieta. Esto confirmó desde el punto de vista biológico que el sustrato fibroso presente determina el número como el grupo fisiológico que en él se desarrolla. López y Rodríguez (1997) también encontraron resultados similares en cerdos.

Con respecto a los microorganismos ciliados, se ha apuntado que éstos son reguladores que incrementan la digestión de compuestos lignocelulósicos y la materia orgánica. Por otra parte, la propiedad de la fibra de intercambiar cationes parece restringir los movimientos de los minerales al reducir la intensi-

dad de la fermentación de los almidones y ejercer un efecto amortiguador, lo que evita una producción de AGCC que inhibe la actividad celulolítica.

Se ha demostrado que niveles elevados de fibra en las raciones de las aves producen una reducción en la absorción del colesterol y de los lípidos al nivel intestinal (A.I. Marrero, comunicación personal). Este efecto fisiológico se debe a la fracción soluble de la fibra (pectinas) y también a la lignina.

CONSIDERACIONES FINALES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

La determinación de las características físico-químicas (solubilidad, volumen, capacidad tampón, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de adsorción de agua) es imprescindible para la estimación del valor nutritivo de los alimentos fibrosos para especies monogástricas.

De forma similar, la FDS puede disminuir indirectamente la síntesis de colesterol y de insulina hormonal que interviene en su síntesis. También tienen características hipocolesterémicas los ácidos grasos de cadena corta (acetato, propionato y butirato) que se producen en el colon como consecuencia de la fermentación de la FDS. También las dietas altas en fibras incrementan la excreción fecal de calcio, hierro, magnesio y zinc. El cobre, el calcio y el zinc son pobremente absorbidos en el lumen intestinal (Prosky y De Vries 1992).

Las investigaciones futuras deben ofrecer informaciones que permitan esclarecer las relaciones entre la composición química, las propiedades físicas y los efectos fisiológicos de los diferentes tipos de fibra para optimizar su utilización en la dieta de aves y cerdos.

REFERENCIAS

- Aumaitre, A. 2001. The role of dietary fibre in pig production. Ed. A. Aumaitre, J.F. Fernández y J. Wiseman.
- Bach-Knudsen, K.E. 2001. The nutritional significance of dietary fibre analysis. *Anim. Feed Sci. Tech.* 90:3
- Belmar-Casso, R. 1998. Recursos no convencionales en la alimentación de animales no rumiantes. La experiencia del Departamento de Nutrición Animal. Universidad Autónoma de Yucatán, México. 10 pp
- Buitrago, A.J. 1990. La yuca en la alimentación animal. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Colombia. 448 pp
- Casper, W. 2001. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Anim. Feed Sci. Techn.* 90:2
- Cherbut, C., Des Varannes, B., Snel, M., Martine, R., Galmiche, J.P. & Delort, J.L. 1994. Improvement of small intestinal motility in blood glucose response to dietary fibre in man. *Brit. J. Nutr.* 71: 675
- Chesson, A. 1997 Cell wall and available area: Their measurement and significance. European Air Concerted Action AIR 3CT942203 Pro Fibre. Eds: Guillon, F., Abraham, G., Amado, R., Anderssen, H., Asp, N.G., Bach Knudsen, K.E., Champ, M t., Robertson, J. Imprimerie Parenthèses, Nantes, France. p.2
- Cole, D.J.A. & Chadd, S.A. 1989. Voluntary food intake of growing pigs. Occasional Publication. British Society of Animal Production. Ed. J.M. Forbes, M.A. Varley and T.L.I. Lawrence. 13:61
- Díaz, M.F. 2000. Forrajes y granos de leguminosas temporales para alimentación animal. Tesis Dr. Cs. Instituto de Ciencia Animal. La Habana
- Díaz, M.F. & Padilla, C.M. 1997. Avances en la evaluación de nuevos cultivares de leguminosas para la alimentación de animales monogástricas en Cuba. IV Encuentro sobre nutrición de animales monogástricos. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p.155
- Domínguez, P.L. 1990. Taller regional sobre utilización de los recursos alimentarios en la producción porcina en América Latina y el Caribe. FAO-Instituto de Investigaciones Porcinas. La Habana, Cuba
- Duncan, D.B. 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics.* 11: 1
- Eastwood, M.A. 1992. The physiological effect of dietary fibre. *Ann. Rev. Nutr.* 12:19.
- Englyst, H. 1989. Classification and measurement of plant polysaccharides. *Anim. Feed Sci. Tech.* 23:27
- Fialho, E.T. & Pinto, H. 1997. Alimentos alternativos para suinos. Ed. FAEPAC. Brasil. 196 pp
- García, A. 1996. Uso de la harina de follaje de plátano en la alimentación de cerdos en crecimiento ceba.

- Tesis de Doctor en Ciencias Veterinarias. Instituto de Investigaciones Porcinas. La Habana
- Gidley, M. 1998. Summary of activities regarding processing and physicochemical properties. I "Functional properties of non-digestible carbohydrates". Profibre European Concerted Action AIR3CT94-2203. Eds. F. Guillon, R. Amado, M.T. Amaral-Collaco, H. Anderson, N.G. Asp, K.E. Bach-Knudsen, M. Champ, J. Mathews, J.A. Robertson, I. Rowland y van Loo. France. p. 2
- Goering, H.K. & van Soest, P.J. 1970. Forage fibre Analysis. Department of Agriculture. Handbook. No. 379. Washington, D.C. p.119
- Graham, H. 1988. Dietary fibre concentration and assimilation in swine. Anim. Plant. Sci. 45:78
- Hansen, L., Bach-Knudsen, K.E. & Eggum, B.O. 1992. Gastrointestinal implication in the rat of wheat bean, cat bean and pea fibre. British. J. Nutr. 68:451
- Herrera, R.S., González, S.B., García, M., Rios, C. & Ojeda, F. 1986. Análisis químico del pasto. Los Pastos en Cuba. Vol. 1. Producción. 2da Ed. Cap. XVI. La Habana. p. 701
- Iji, P.A., Sahi, A.A & Yuiey, P.R. 2001. Intestinal development and body growth of broiler chicks on diets supplemented with non starch polysaccharides. Anim. Feed Sci. Tech. 89:175
- Lester, S.J., Dhanoa, M.S., Stewart, J.L & Gill, M. 2000. Classification and comparison of *Gliricidia provenances* using near infrared reflectance spectroscopy. Anim Feed Sci. Tecn. 87:205
- Lon Wo, E. 1995. Alimentación no convencional para las aves en el trópico. XIV Congreso Latinoamericano de Avicultura. Memorias. Santiago, Chile. p. 73
- López, A. & Rodríguez, S. 1997. Efecto del nivel de fibra sobre el número y la actividad de la microflora celulolítica en el ciego de cerdos. Trabajo de diploma. Facultad de Biología. Universidad de la Habana, Cuba. p.40
- Low, A.G. 1989. Secretory response of pig gut to non-starch polysaccharides. Anim. Feed Sci. Tech. 23:55
- Ly, J., Lon Wo, E., & Castro, M. 1996. Balance de nitrógeno y energía en cerdos alimentados con dietas de mieles de caña y zeolitas naturales cubanas de distintos yacimientos. Rev. cubana Cienc. Agríc. 30: 295
- Marrero, A. I. 1998. Contribución al estudio de la utilización de la fibra dietética en gallináceas. Tesis Dr. Cs. Vet. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba
- Mastrapa, L., Mederos, C.M., Rodríguez, J.L., Rodríguez, M., Mazón, D. & Rosas, B. 1996. Evaluación de la fibra dietética insoluble y del nitrógeno asociado a esta fracción en alimentos para cerdos. Evento Porcicultura 96. Ciudad de la Habana, Cuba. p. 50
- Mc Doughall, G.J., Morrison, I. M., Stewart, D & Hillman, J.R. 1996. Plant cell walls as dietary fibre: Range, Structure, Processing and Function. J. Sci. Food Agric. 70:133
- Montilla, J.J. 1994. Agricultura para la alimentación de las aves y cerdos en el trópico. II Encuentro Regional de Nutrición y Alimentación de Monogástricos. Memorias. La Habana, Cuba. p. 1
- Periago, M.J., Ros, G., López, G., Gutiérrez, M.C. & Rincón, F. 1993. Componentes de la fibra dietética y sus efectos fisiológicos. Rev. Esp. Cienc. Tecnol. Alimentos. 53:229
- Ponce de León, R. 1997. Uso de la harina de cítricos en conejos. Bases fisiológicas y primeros resultados cubanas en dietas palatizadas. IV Encuentro sobre animales monogástricos. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba
- Potty, V.H. 1996. Physico chemical aspects, physiological functions, nutricional importance and technological significance of dietary fibers. A critical appraisal. J. Food. Sci. Tecnol. 33: 1
- Prosby, P., Asp, N.G., Furda, I., de Vries, J.W., Schweizer, T.F. & Harland, B. 1984. Determination of total dietary fibre in foods, food products, Collaborative study. J. Assoc. Anal. Chem. 68: 677
- Prosby, L. & de Vries, J. 1992. Controlling dietary fibre in food products. Von nostrand Reinhold. Ed. Prosby, L and De Vries, J. New York. p. 54
- Rodríguez, J. 1994. Preevaluación rápida de nuevos alimentos para las aves. II Encuentro regional de Nutrición de Monogástricos. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. p.14
- Rodríguez, S., Galindo, J., Marrero, A.I., Boucourt, R., Elías, A. & Riverí, Z. 1996. Una nota sobre el aislamiento de hongos celulolíticos anaerobios en el ciego de pollos de engorde. Rev. cubana Cienc. agríc. 30:201
- Ruiz, B. 1991. Algunos conceptos de la fibra y su utilización en la nutrición de laves. Soya Noticias. 26:14
- Ruiz, Z., Murphy, B. & Olivera, M. 1999. Interacción reproducción nutrición en los animales domésticos, es la leptina la clave? Rev. Col. Cienc. Pec. 12:145

- Savón, L. 2000. Uso de fuentes fibrosas como alternativa alimentaria para aves, cerdos y conejos. Informe Final Proyecto. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente. La Habana
- Savón, L. & González, T. 1996. Fibra dietética en especies monogástricas. I Conferencia de Agricultura Sostenible. Nueva Gerona, Isla de la Juventud, Cuba. p. 32
- Savón, L., Gutiérrez, O., González, T. & Orta, M. 1999. Manual de caracterización físico-química de alimentos. Ed. Instituto de Ciencia Animal. La Habana, Cuba. 33 pp
- Schneeman, B.O. & Gallaker, D. 1989. Effects of dietary fibre on digestive enzyme activity and bile acids in the small intestine. *Proc. Exp. Biol. Med.* 180:409
- Sosulski, F.W. & Cadden, A.M. 1982. Composition and physiological properties of several sources of dietary fiber. *J. Food Sci.* 47:1472
- Souffrant, W.B. 2001. Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in the pig. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 89:93
- Southgate, D.A.T. 1998. Physical form and physical function of dietary fibre. *European Air Concerted Action Profibre*. Eds. F. Guillon y cols. Imprimerie Parenthèses, Nantes, France. p.16
- Taverner, M.R., Hume, I.D & Farrell, D.J. 1981. Availability to pigs of aminoacids in cereal grains. I Endogenous levels of aminoacids in ileal digesta and faeces of pigs given cereal diets. *Br. J. Nutr.* 46:149
- Varel, V.H. & Pond, W.G. 1985. Enumeration and activity of cellulolytic bacteria from gestating sows fed various levels of dietary fibre. *Appl. Environ. Microbiol.* 47: 219
- Zebrowska, T., Low, A.G. & Zebrowska, H. 1983. Studies on gastric digestion of protein and carbohydrate, gastric secretion and exocrine pancreatic secretion in growing pig. *Br. J. Nutr.* 49:401
- Zhao, X., Jorgensen, A. & Eggum, B.Q. 1995. The influence of dietary fibre in body composition, visceral organ weight balance in rats housed in different thermal environments. *British J. Nutr.* 73:687

Recibido: 2 de julio de 2001.