



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT**

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS -  
UAN-**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES PORCINAS**

**- CUBA -**

# **FISIOLOGÍA NUTRICIONAL DEL CERDO**



**Autores:**  
Julio Ly  
Clemente Lemus Flores

1ª.- Edición, 2008  
Edit. Universidad Autónoma de Nayarit  
165 pp,  
ISBN: 968-833-077-9

**DIRECTORIO**

**Omar Wicab Gutiérrez**  
**Rector de la Universidad Autónoma de Nayarit**

**Adrián Navarrete Méndez**  
**Secretario General**

**Clemente Lemus Flores**  
**Secretario de Investigación y Posgrado**

**FISIOLOGÍA NUTRICIONAL DEL CERDO**  
**Edición: Clemente Lemus Flores**  
**Julio Ly Carmenatti**

**Primera edición impresa**  
**Derechos Reservados**  
**@ Universidad Autónoma de Nayarit**  
**@ Instituto de Investigaciones Porcinas**

**La información contenida de cada uno de los trabajos**  
**es responsabilidad del autor.**

**Diseño: Rosa María Martínez**  
**Gerónima Rodríguez Haro**  
**Gabriela Pérez Valle**

**Financiado por:**  
**Universidad Autónoma de Nayarit**  
**Cocyten proyecto 2006-C01-66170**

**ISBN: 968-833-077-9**

## Índice General

<i>CAPITULO I</i>		
Introducción al estudio de la fisiología digestiva en cerdos. Interdependencia entre índices digestivos y rasgos de comportamiento. Interdependencia entre fisiología de la digestión y requerimientos nutricionales.		
<i>CAPITULO II</i>		
Anatomía del tracto gastrointestinal del cerdo. Métodos de medición en órganos. Evolución del tracto gastrointestinal y las glándulas anexas en relación con la edad. Aspectos morfométricos.		
<i>CAPITULO III</i>		
Patrón de consumo del cerdo. Factores que influyen. Interrelación entre el patrón de consumo y los rasgos de comportamiento. Interrelación entre el patrón de consumo y la digestión. Métodos de medición del patrón de consumo.		
<i>CAPITULO IV</i>		
Tránsito de la digesta por el tracto gastrointestinal. Efecto de la edad y otros factores no dietéticos. Efecto de la naturaleza de la dieta. Métodos de medición del tránsito de digesta.		
<i>CAPITULO V</i>		
Digestión y digestibilidad. Digestibilidad de ingredientes y nutrientes en el cerdo. Tipos de digestibilidad. Factores que influyen en la digestibilidad de una dieta. Aspectos metodológicos.		
<i>CAPITULO VI</i>		
Digestión estomacal. El estómago como órgano reservorio de digesta. Factores que determinan la digestión en el estómago. Regulación de la evacuación gástrica. La hidrólisis gástrica. Regulación de la secreción gástrica. Métodos de estudio de la función gástrica.		
<i>CAPITULO VII</i>		
Digestión en el intestino delgado. Digestión luminal y de membrana. El páncreas exocrino. Secreción biliar y circulación enterohepática. Factores que influyen en la digestión en el intestino delgado. Concepto de digestibilidad ileal. Métodos de estudio de la digestión en el intestino delgado.		
<i>CAPITULO VIII</i>		
Digestión en el intestino grueso. Aspectos de la digestión en el ciego y en el colon. Concepto de digestibilidad post-ileal. Factores que intervienen en la digestión en el intestino grueso. Métodos de estudio de la digestión en el intestino grueso.		
<i>CAPITULO IX</i>		
La microflora del tracto gastrointestinal del cerdo. Interdependencia entre digestión enzimática y digestión microbiana. Formas de manipulación de la digestión microbiana. Digestión de la pared celular. Métodos de estudio de la microbiología del tracto gastrointestinal y de la digestión de la fibra en el cerdo.		
<i>CAPITULO X</i>		
Absorción intestinal en el cerdo. Transporte a través de membrana. Métodos in vivo e in vitro para estudiar la absorción intestinal.		

## Índice de Tablas

Tabla		
1.1	<b>Ventajas y desventajas de los índices digestivos ileales y fecales en el cerdo.</b>	
1.2	<b>Digestión del almidón y de polisacáridos que no son almidón (PNA) en dietas mixtas en el cerdo.</b>	
1.3	<b>Digestión de grasa de dietas mixtas en el cerdo</b>	
1.4	<b>Matriz de correlación entre rasgos de comportamiento e índices digestivos en cerdos entre 27 y 99.5 kg</b>	
1.5	<b>Relación entre el sitio de digestión de nutrientes y rasgos de comportamiento en cerdos en crecimiento (proteína).</b>	
1.6	<b>Influencia del método de formulación en rasgos de comportamiento en cerdos.</b>	
2.1	<b>Efecto de la extensión del periodo postprandial en la morfología del tracto gastrointestinal.</b>	
2.2	<b>Índices morfométricos del sistema digestivo y digestibilidad en cerdos sin o con tratamiento diario de hormona somatotropa.</b>	
2.3	<b>Velocidad de crecimiento del tracto gastrointestinal del cerdo desde el nacimiento hasta los 18 meses.</b>	
2.4	<b>Velocidad de crecimiento de diferentes órganos del tracto gastrointestinal del cerdo hasta los 18 meses.</b>	
2.5	<b>Interdependencia entre medidas de órganos del sistema digestivo y el peso corporal de cerditos lactantes (hasta 11 kg).</b>	
2.6	<b>Interdependencia entre medidas de órganos del sistema digestivo y el peso corporal de cerdos en crecimiento (entre 12 y 161 kg).</b>	
2.7	<b>Efecto del consumo de dietas diluidas con agua o no, sobre el peso de órganos digestivos en cerdos.</b>	
2.8	<b>Efecto del cruzamiento sobre la morfometría del tracto gastrointestinal y rasgos de comportamiento en el cerdo.</b>	
2.9	<b>Efecto del genotipo en los rasgos de canal y pesos de órganos de cerdos alimentados con niveles alto y bajo de harina de alfalfa.</b>	
2.10	<b>Efecto del genotipo en índices digestivos y la morfología gastrointestinal de cerdos alimentados con dos niveles de fibra.</b>	
2.11	<b>Efecto del genotipo y de la hormona somatotropa porcina exógena (PST) en el peso de órganos del sistema digestivo del cerdo.</b>	
2.12	<b>Efecto del plano de alimentación sobre el peso de órganos digestivos en el cerdo.</b>	
2.13	<b>Efecto del nivel de alfalfa en la dieta sobre el peso estimado de órganos digestivos en el cerdo.</b>	
2.14	<b>Longitud y capacidad de órganos del tracto gastrointestinal y tránsito de digesta en cerdos alimentados con dietas con niveles variables de fibra.</b>	
2.15	<b>Efecto del nivel de harina de alfalfa dietética (alto, 80%; bajo, 1%) en rasgos de canal y la morfometría gastrointestinal de cerdos genéticamente obesos, magros o sin selección.</b>	

2.16	<b>Efecto del nivel de lactosa sobre la morfometría cecal en el cerdo.</b>	
2.17	<b>Efecto del nivel de suero de leche seco sobre el peso del intestino grueso en el cerdo.</b>	
2.18	<b>Efecto de la miel final sobre el peso del tracto digestivo y del hígado en cerdos.</b>	

### *Índice de Tablas*

Tabla		
2.19	<b>Características morfológicas de diferentes órganos del tracto gastrointestinal en cerdos alimentados con dietas de maíz o mieles de caña como fuente de energía.</b>	
3.1	<b>Actividad general de cerdos en un ambiente iluminado del ciclo de 24 h.</b>	
3.2	<b>Actividad general de cerdos alimentados en grupos.</b>	
3.3	<b>Actividad de los cerdos en un ciclo de 24 horas.</b>	
3.4	<b>Efecto de la forma física de presentación del alimento sobre el patrón de consumo de los cerdos.</b>	
3.5	<b>Correlaciones simples entre rasgos del patrón de consumo y de comportamiento en el cerdo.</b>	
3.6	<b>Patrón de consumo y rasgos de comportamiento en cerdos alojados en grupos o individualmente.</b>	
3.7	<b>Correlaciones parciales significativas (<math>P &lt; 0.10</math>) entre rasgos de patrón de consumo y de comportamiento y canal después de ajustados para un consumo diario constante, el sexo y el lote de alimento.</b>	
3.8	<b>Interdependencia entre el tamaño de ración y la evacuación gástrica de sólidos en cerdos.</b>	
4.1	<b>Tránsito de las fases líquidas y sólida de la digesta en el cerdo.</b>	
4.2	<b>Pendiente y coeficiente de correlación de las líneas de regresión del <math>\ln</math> de la concentración del marcador con respecto al tiempo.</b>	
4.3	<b>Valores de a y b en regresiones lineales <math>\ln y = a + bx</math> y digestibilidad de MS en cerdos.</b>	
4.4	<b>Distribución de polietilén glicol por el TGI de lechones alimentados con leche de vaca.</b>	
4.5	<b>Tránsito de digesta en lechones alimentados con dos tipos de fuentes proteicas.</b>	
4.6	<b>Efecto de la edad sobre el tránsito de digesta en el cerdo.</b>	
4.7	<b>Efecto del momento del día en que se ingirió el alimento marcado sobre el tránsito de digesta en el cerdo.</b>	
4.8	<b>Efecto de la raza sobre el tránsito de digesta en el cerdo.</b>	
4.9	<b>Efecto del nivel de consumo sobre el tránsito digestivo por todo el TGI</b>	

	<b>del cerdo.</b>	
4.10	<b>Efecto del nivel de inclusión de fibra en la dieta sobre el tránsito de digesta en el cerdo.</b>	
4.11	<b>Efecto del nivel de inclusión de fibra en la dieta sobre el tránsito de digesta en el cerdo.</b>	
4.12	<b>Efecto de distintos tipos y niveles de fibra en la dieta sobre el tránsito de digesta en el cerdo.</b>	
4.13	<b>Efecto de la naturaleza de la fuente de almidón sobre el tránsito de digesta en el cerdo.</b>	
4.14	<b>Efecto de bajos niveles de glucosa, lactosa y almidón de maíz sobre el tránsito de digesta en el cerdo.</b>	
4.15	<b>Efecto de bajos y altos niveles de glucosa, lactosa y almidón de maíz sobre el tránsito de digesta en el cerdo.</b>	
4.16	<b>Influencia de altas proporciones de lactosa o almidón de maíz sobre el tránsito de digesta en el cerdo.</b>	
4.17	<b>Efecto de diferentes niveles de azúcar crudo sobre el tránsito de digesta en el cerdo.</b>	

### *Índice de Tablas*

---

Tabla		
4.18	<b>Efecto de distintos tipos de mieles de caña sobre el tránsito de digesta en el cerdo.</b>	
4.19	<b>Influencia del procesamiento del grano de cebada sobre el tránsito de digesta en el cerdo.</b>	
4.20	<b>Influencia de suministrar dietas granuladas o en forma de harina sobre el tránsito de digesta en el cerdo.</b>	
	<b>Anexo I : Cantidad ingerida del marcador: 270 mg.</b>	
5.1	<b>Determinación de la digestibilidad de la sacarosa y la celulosa en cerdos a partir de una dieta básica.</b>	
5.2	<b>Digestibilidad de la energía en cerdos como función de la línea de selección, sexo, nivel de consumo y peso corporal.</b>	
5.3	<b>Efecto del peso corporal en la digestibilidad de la MS y el N.</b>	
5.4	<b>Digestibilidad y retención del N en cerdos de acuerdo con la raza, el nivel de alimentación (alto/bajo) y el peso corporal.</b>	
5.5	<b>Efecto de la temperatura del ambiente en la digestibilidad y retención del N en cerdos.</b>	
5.6	<b>Efecto de la temperatura ambiente en la digestibilidad de dietas de cebada para cerdos.</b>	

5.7	<b>Efecto de la temperatura ambiente en el balance de nitrógeno de cerdos en acabado alimentados restringidamente.</b>	
5.8	<b>Influencia del tamaño de partícula del sorgo en índices digestivos del cerdo.</b>	
5.9	<b>Influencia del tamaño de partícula de la cebada en índices digestivos del cerdo.</b>	
5.10	<b>Efecto de la extrusión de cebada en índices digestivos del cerdo.</b>	
5.11	<b>Efecto de la fibra dietética en índices digestivos de cerdos.</b>	
	Anexo I: <b>Ejemplo de cálculo de la digestibilidad de una dieta por el método directo.</b>	
	Anexo II: <b>Ejemplo de cálculo de la digestibilidad de una dieta por el método indirecto.</b>	
	Anexo III: <b>Ejemplo de la digestibilidad de un ingrediente de la dieta.</b>	
6.1	<b>Retención parcial de digesta en diferentes secciones del tracto gastrointestinal del cerdo.</b>	
6.2	<b>Digestibilidad y tránsito de digesta en cerdos gastrectomizados.</b>	
6.3	<b>Tamaño de ración y evacuación gastroduodenal en el cerdo.</b>	
6.4	<b>Tamaño de ración y evacuación gastroduodenal en cerdos alimentados con maíz o miel final.</b>	
6.5	<b>Tránsito de las fases líquidas y sólidas de la digesta por el estómago del cerdo.</b>	
6.6	<b>Nivel de consumo y retención gástrica de digesta (en %) en cerdos en crecimiento.</b>	
6.7	<b>Influencia del cambio en la proporción dieta: agua en la retención aparente de digesta (en %) en cerdos.</b>	

### *Índice de Tablas*

Tabla		
6.8	<b>Semitiempo de evacuación estomacal en cerdos alimentados con bajos niveles de distintos tipos de fibra.</b>	
6.9	<b>Digestibilidad duodenal (%) de componentes de fracciones de la pared celular en cerdos alimentados con altos niveles de distintos tipos de fuente de fibra.</b>	
6.10	<b>Efecto de celulosa, maíz o sacarosa en la retención aparente de la digesta (en %) en cerdos en crecimiento.</b>	
6.11	<b>Influencia de la duración de la preinfusión duodenal de lípidos en la</b>	

	evacuación estomacal de sólidos y líquidos.	
6.12	Influencia de la duración de la preinfusión duodenal de glucosa en la evacuación estomacal de sólidos y líquidos.	
6.13	Características de la pepsina A y de la quimosina.	
6.14	Influencia del suministro de alimento sólido en la máxima secreción de ácido (y, mmol/h) en el estómago de cerditos actantes I(x, kg de peso corporal).	
6.15	Influencia dietética en la actividad de pepsina y volumen de secreción gástrica en cerdos en crecimiento provistos de cánulas reentrantes en el duodeno.	
7.1	Cantidades relativas de enzimas pancreáticas durante las primeras 8 semanas de vida del cerdito <sup>1</sup> .	
7.2	Efecto de la eliminación de la secreción pancreática en índices digestivos de cerditos.	
7.3	Digestibilidad de una dieta (en %) después de la ligadura del conducto pancreático en el cerdo.	
7.4	Exportación diaria de jugo pancreático en cerdos alimentados con distintos tipos y niveles de grasa.	
7.5	Actividad específica de proteasas pancreáticas en respuesta a un cambio en la naturaleza de la proteína dietética.	
7.6	Exportación diaria de jugo pancreático en cerdos alimentados con distintos tipos y niveles de fibra.	
7.7	Exportación diaria de jugo pancreático en cerdos alimentados con harina de soya normal o cruda.	
7.8	Influencia de la ligadura del conducto pancreático en la digestibilidad de nutrientes en el cerdo.	
7.9	Influencia del nivel lipídico en dieta en la secreción biliar del cerdo.	
7.10	Influencia del tipo de fuente proteica en las características de la secreción biliar de cerdos miniatura Gottingen.	
7.11	Exportación diaria de sales biliares en dependencia del sitio de entrada al intestino delgado del cerdo.	
7.12	Rangos de digestibilidad ileal del nitrógeno y aminoácidos esenciales en granos de cereales (en porcentaje).	
7.13	Influencia del nivel dietético de tanino en la digestibilidad ileal de dietas de sorgo en cerdos.	
7.14	Influencia del tratamiento térmico sin y con amoníaco de sorgo resistente a aves en la digestibilidad ileal de dietas de sorgo en cerdos.	
7.15	Rangos de digestibilidad ileal del nitrógeno y aminoácidos esenciales en suplementos proteicos (en porcentaje).	
7.16	Efecto de harina de soya cruda o cocida en autoclave en la digestibilidad ileal de aminoácidos en cerdos.	
7.17	Digestibilidad ileal de nutrientes en cerdos alimentados con soya cruda o calentada, convencional o con baja actividad antitripsina.	

## Índice de Tablas

Tabla		
7.18	<b>Emisión ileal de aminoácidos esenciales y nitrógeno en g/día (de acuerdo con la fibra neutra detergente en dietas para cerdos.</b>	
7.19	<b>Indices digestivos de cerdos alimentados con distintos tipos y niveles de fibra.</b>	
7.20	<b>Influencia de la extrusión del maíz en la digestibilidad ileal de nutrientes de dietas para cerditos destetados.</b>	
7.21	<b>Influencia de la virginiamicina (50 ppm) en la resorción de aminoácidos en asas aisladas en el intestino delgado del cerdo.</b>	
7.22	<b>Respuesta del crecimiento de cerdos y retención de lisina ilealmente digestible a partir de dietas formuladas para contener una cantidad equivalente de la lisina ilealmente digestible.</b>	
7.23	<b>Comparación de la digestibilidad <i>in vitro</i> e <i>in vivo</i> de la proteína en alimentos para cerdos.</b>	
7.24	<b>Análisis de regresión entre la fibra neutra detergente, digestibilidad <i>in vivo</i>, <i>in sacco</i> e <i>in vitro</i> en alimentos para cerdos.</b>	
8.1	<b>Tiempo de retención de digesta y absorción de agua en el intestino grueso del cerdo.</b>	
8.2	<b>Patrón postprandial de la absorción neta cólica de agua y concentración de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) durante la infusión en el íleon de neomicina (15 g/día).</b>	
8.3	<b>Concentración de agua y electrolitos en 5 secciones equilongitudinales sucesivas del colon del cerdo.</b>	
8.4	<b>Eficiencia de la utilización de la energía metabolizable (en porcentaje).</b>	
8.5	<b>Excreción fecal y urinaria del N suministrado a cerdos por diferentes vías.</b>	
8.6	<b>Participación del intestino grueso en la digestión de nutrientes en el cerdo.</b>	
8.7	<b>Fracción de la lactosa consumida ingresada en el intestino grueso y pH del contenido cecal y cólico de cerdos.</b>	
8.8	<b>Digestión en el intestino grueso del cerdo de dietas contentivas de suero de leche y niveles variables de celulosa.</b>	
8.9	<b>Efecto de la fuente de almidón y de nebaticina en la digestibilidad ileal y total de la energía en cerdos.</b>	
8.10	<b>Digestión en el intestino grueso del cerdo de dietas confeccionadas con distintos productos de papa.</b>	
8.11	<b>Acido diaminopimérico (ADP) y N bacteriano en excretas de cerdos alimentados con distintos productos de papa.</b>	
8.12	<b>Influencia de extractos de papa en la digestión de dietas en el intestino grueso del cerdo.</b>	
8.13	<b>Efecto de la fuente de pared celular en la digestión de sus distintos</b>	

	<b>componentes en el cerdo.</b>	
8.14	<b>Digestibilidad de polisacáridos en el intestino delgado de cerdos alimentados con dietas de trigo o avena.</b>	
8.15	<b>Digestibilidad de polisacáridos en todo el tracto gastrointestinal de cerdos alimentados con dietas de trigo o avena.</b>	
8.16	<b>Digestión en el intestino grueso de cerdo de dietas de cebada o trigo con distintos tamaños de partículas.</b>	
8.17	<b>Digestión en el intestino grueso de nutrientes de dietas sin o con virginiamicina.</b>	

### *Índice de Tablas*

---

Tabla		
8.18	<b>Efecto de la inclusión de un preparado enzimático en la digestión en el intestino grueso del cerdo.</b>	
8.19	<b>Efecto de la celulosa dietética en la digestibilidad de materia seca (en %) en cerdos intactos o cecotomizados.</b>	
8.20	<b>Índices fermentativos y tiempo de retención de partículas en sistemas de incubación in vitro de contenido cecal porcino.</b>	
9.1	<b>Niveles de ácidos orgánicos (en mmol/100 ml) en la digesta estomacal de cerdos.</b>	
9.2	<b>Monto de ácidos orgánicos en el tracto gastrointestinal (en mmol) de cerdos alimentados con papa cruda o cocida.</b>	
9.3	<b>Valores de CEA en el intestino delgado y otras secciones del tracto gastrointestinal del cerdo.</b>	
9.4	<b>Proporción de ácidos biliares en bilis y excretas de cerdos libres de gérmenes (LG) y convencionales (C).</b>	
9.5	<b>Especies bacterianas del contenido cecal en el cerdo.</b>	
9.6	<b>Excreción fecal de AGCC en cerdos tras una infusión de carbohidratos.</b>	
9.7	<b>Estimación de la energía fermentada a partir de la energía digestible aparente y el nitrógeno fecal en cerdos.</b>	
9.8	<b>Producción diaria de hidrógeno y metano y valores estimados estequiométricamente de la producción de AGCC y energía fermentada (EF) en cerdos.</b>	
9.9	<b>Degradación de aminoácidos esenciales por la microflora cecal del cerdo.</b>	
9.10	<b>Efecto de la virginiamicina o de la paja de cebada en la producción cólica de AGCC en cerdos (en mmol/h/kg de digesta seca).</b>	
9.11	<b>Influencia de la virginiamicina (V) y de la espiramicina (E) en la concentración de aminas (mmol N/g MS) en el contenido digestivo de cerdos.</b>	
9.12	<b>Porcentaje del efecto del nivel de fibra cruda dietética en la digestibilidad de nutrientes en cerdos con diferentes pesos.</b>	

10.1	<b>Efecto de la velocidad de flujo en la absorción <i>in situ</i> de histidina y glucosa a partir de una solución de 1 g/dl en yeyuno de cerdos.</b>	
10.2	<b>Absorción <i>in situ</i> de glucosa en asas intestinales aisladas de cerdos.</b>	
10.3	<b>Digestibilidad ileal de carbohidratos en cerdos.</b>	
10.4	<b>Digestibilidad ileal y total de grasa y ácidos grasos en cerdos</b>	
10.5	<b>Absorción intestinal de aminoácidos de acuerdo con el método de estimación.</b>	
10.6	<b>Tránsito de minerales (y, g/día) en cerdos que ingirieron niveles variables de Na, K, Ca, Mg, y P.</b>	
10.7	<b>Absorción de macro y microelementos en el cerdo.</b>	
10.8	<b>Balace de agua el en tracto gastrointestinal del cerdo.</b>	
10.9	<b>Monto de azúcares reductores (mg) aparecidos en la porta de cerdos 8 h después de ingerir cantidades variables de carbohidratos.</b>	

---

*Índice de Tablas*

---

Tabla		
10.10	<b>Cantidad de aminoácidos ingresados por vena porta en 5 h a partir de un hidrolizado de caseína o una mezcla similar de aminoácidos introducidos en el duodeno del cerdo.</b>	
10.11	<b>Proporción de AGCC y monto absorbido en cerdos alimentados con 6 y 16% de celulosa (C6 ó C16) o un 22% de harina alfalfa o lactosa (HF o L).</b>	
10.12	<b>Monto de ácido láctico aparecidos en el organismo durante la digestión.</b>	

## CAPITULO I

### Introducción al estudio de la fisiología digestiva en cerdos. Interdependencia entre índices digestivos y rasgos de comportamiento. Interdependencia entre fisiología de la digestión y requerimientos nutricionales.

#### Introducción al estudio de la fisiología digestiva en cerdos

Es evidente que el mayor avance hecho hasta los años 80's en materia de producción porcina estuvo sustentado en el progreso genético. En este sentido el trabajo de los genetistas estuvo dirigido hacia el logro de una menor conversión alimentaria y una menor proporción de tejido adiposo en el cuerpo de los animales. Sin embargo, este progreso genético parece ser cada vez menos evidente en las circunstancias actuales, sobre todo si se compara con el avance imprevisible de la producción animal a partir de la manipulación biotecnológica.

En comparación con estos adelantos evidentes los logros de la ciencia de la nutrición aparecen como más modestos, aún así es notable el esfuerzo que se hace con vistas a lograr no sólo dietas más eficientes en cerdos con requerimientos nutricionales cada vez más exigentes, sino en la incorporación de alimentos no convencionales en la ración de los cerdos. Para todo esto último es necesaria una manipulación correcta de los conocimientos en materia de fisiología digestiva, que a su vez también van siendo cada vez más precisos y exactos.

Un ejemplo de lo anterior está en la actual tendencia al uso de índices digestivos a nivel ileal y no fecal, debido a que los primeros son mejores y más sensibles para detectar deficiencias en el valor nutritivo de los alimentos. Las ventajas y desventajas de la digestibilidad ileal con respecto a la fecal o total aparecen en la tabla 1.1 en la forma en que lo ha expuesto Dierick (1991).

**Tabla 1.1 Ventajas y desventajas de los índices digestivos ileales y fecales en el cerdo.**

<b>Digestibilidad ileal</b>	<b>Digestibilidad fecal</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Laboriosa (canulación).</li><li>- Costosa.</li><li>- Fin de la fase hidrolítica.</li><li>- Poco impacto de la microflora.</li><li>- Los residuos son de la dieta.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Fácil de hacer.</li><li>- Barata.</li><li>- Fase hidrolítica y fermentativa no están diferenciadas.</li><li>- Gran impacto de la microflora.</li><li>- Los residuos son masa bacteriana.</li></ul>
Sensible a:	- Insensible.
<ul style="list-style-type: none"><li>- Influencia de lote ("<i>batch</i>")</li><li>- Tamaño de partícula</li><li>- Procesamiento del alimento (peletizado, tratamiento térmico).</li><li>- Promotores del crecimiento (agentes antimicrobianos, probióticos, ácidos orgánicos, enzimas).</li></ul>	
- Evaluación alimentaria correcta	- Incorrecta.

FUENTE: Dierick *et al* (1988).

La diferenciación entre la digestión de nutrientes ileal y la fecal no lo es sólo para la fracción proteica, sino para los carbohidratos (almidón, polisacáridos que no son almidón (PNA), fibra) como se puede observar en la tabla 1.2, y para la fracción grasa (grasa cruda, ácidos grasos) como se propone en la tabla 1.3

**Tabla 1.2 Digestión del almidón y de polisacáridos que no son almidón (PNA) en dietas mixtas en el cerdo.**

	<b>Concentración de alimento (%)</b>	<b>Digestibilidad ileal (%)</b>	<b>Digestibilidad fecal (%)</b>
Componentes de PNA:			
	7.75	7.03	74.70
Arabinosa	3.02	11.00	52.09
Xilosa	1.41	9.00	82.40
Galactosa	6.76	24.50	59.90
Glucosa	2.80	28.00	81.80
Ácidos urónicos	17.53	17.90	67.10
PNA totales	6.80	9.30	39.30
Fibra cruda	32.60	97.20	99.70
Almidón			

FUENTE: Vervaeke et al (1989).

**Tabla 1.3 Digestión de grasa de dietas mixtas en el cerdo**

<b>Grasa o ácido graso</b>	<b>Grasa en dieta Perfil de ácidos grasos</b>	<b>Digestibilidad</b>		<b>Diferencia</b>
		<b>Ileal (%)</b>	<b>Fecal %</b>	
Grasa	6.8	68.4	64.8	- 3.6
Ácidos grasos	4.6	63.8	72.6	+ 8.8
C14	1.4	65.1	77.4	+12.3
C16	24.3	47.8	65.7	+17.9
C16:1	2.7	99.1	100.0	+ 0.9
C18	12.5	17.4	- 4.6	-22.0
C18:1	35.3	68.9	81.9	+13.0
C18:2	19.9	85.4	93.5	+ 8.1
C18:3	3.9	97.5	96.3	- 1.2
Ácidos grasos en grasa (%)	67.8	57.5	49.7	--

FUENTE: Vervaeke et al (1989).

Por otra parte, según Dierick (1991) la diferenciación de los carbohidratos dietéticos entre fibra cruda y extracto libre de nitrógeno (ELN) no permite ninguna conclusión sobre la participación del intestino delgado y el grueso en la digestión de estos componentes. Como puede verse en la tabla 1.2, la digestión de la fibra comienza en el intestino delgado. La digestión ileal de los PNA alcanza un 20% en ese intestino y alrededor de un 70% en todo el tracto; estas cifras son mayores y más exactas que los valores de digestibilidad de la fibra.

#### **Interdependencia entre índices digestivos y rasgos de comportamiento**

Tal vez uno de los primeros experimentos que mostró una interdependencia de significación entre diferentes rasgos de comportamiento e índices digestivos fue el de Siers (1975). Los datos publicados por Siers (1975) se muestran en la tabla 1.4

**Tabla 1.4 Matriz de correlación entre rasgos de comportamiento e índices digestivos en cerdos entre 27 y 99.5 kg**

	Conversión alimentaria	Ganancia diaria	Digestibilidad		
			Dieta	Proteína	Grasa
Conversión alimentaria	1.00				
Ganancia Diaria	- 0.49	1.00			
Digestibilidad:					
Dieta	0.17	- 0.50	1.00		
Proteína	0.16	- 0.47	0.92	1.00	
Grasa	0.06	- 0.34	0.70	0.59	1.00

r mayor o igual que 0.28 es significativa (P < 0.05).

FUENTE: Siers (1975).

Siers (1975) encontró que tanto el consumo de alimento como la ganancia media diaria se correlacionaron negativamente con los índices digestivos, lo que fue interpretado como que los cerdos que crecían más rápidamente y que consumían más alimento no digerían la ración tan completamente como los cerdos que crecían más lentamente. Esta relación indeseable pudiera explicarse según Siers (1975) en el sentido de que pudiera existir una correlación negativa entre el tránsito de digesta por el tracto gastrointestinal y la fracción de esta que se digiere y absorbe. Esta hipótesis es lógica.

En la tabla 1.4 se demuestra que la digestibilidad ileal de la proteína de los aminoácidos proporciona una predicción mejor de su utilización final para el crecimiento del cerdo que los datos fecales. Por lo tanto parece más apropiado usar los datos ileales con los valores fecales en la formulación práctica de dietas. Informes contemporáneos de Imbeah et al (1988) y de Laplace et al (1989) sugieren que los efectos asociativos tienen un impacto mínimo en la digestibilidad de aminoácidos, todo lo contrario a lo hallado en la digestibilidad fecal de estos compuestos.

Por otra parte, los índices de comportamiento indicaron que se correlacionaran mejor con la materia orgánica digerida en todo el tracto que con la misma digerida hasta el íleon. Ello sugiere que para una evaluación nutricional exacta, hay que tener en cuenta la energía recuperada mediante la fermentación en el intestino grueso de la materia orgánica a ácidos grasos de cadena corta (AGCC), particularmente en el caso de las dietas fibrosas. Estos resultados se alinean con los de Livingstone y Fowler (1987) y Laplace et al (1989).

Sin embargo, la eficiencia energética originaria de la fermentación en el intestino grueso (AGCC) es menor que la de los carbohidratos que son absorbidos como monosacáridos en el intestino delgado, debido a las pérdidas como metano, dióxido de carbono, calor de fermentación y la menor eficiencia de uso de los AGCC en el metabolismo intermediario del cerdo, tal como han señalado Muller y Kirchgessner (1986). Los materiales que se fermentan en el intestino grueso rinden solamente del 50 al 70% de la energía neta del almidón digerido y absorbido en el intestino delgado (Just et al., 1983; Muller y Kirchgessner, 1986; Zhu et al. 1990).

Se ha hallado que en dietas mixtas, como promedio cerca del 50% de la materia orgánica digerida en el intestino grueso se convierte en AGCC (Dierick et al., 1990; Vervaecke et al (1989 ab), mientras que la eficiencia de utilización de la EM a partir de los AGCC llega a un 70% a nivel de metabolismo intermediario (Dierick et al. 1990).

En este sentido, debe mencionarse que la contribución de la fermentación del intestino grueso al suministro total de energía en cerdos en crecimiento que consumen dietas con 3.5-8.0% de fibra cruda y 15-22% de PNA, expresado como energía neta (EN) de los AGCC en relación con los índices de EN, ENp (producción), ENm (mantenimiento) llega a 10%, 14% y 35% respectivamente (Dierick et al., 1990).

Es escasa la información existente en la literatura sobre evidencia zootécnica de la formulación de dietas a partir de la digestibilidad ileal. En la tabla 1.5 aparecen algunos datos sobre la relación que existe entre el sitio de digestión de nutrientes (proteína, materia orgánica) y los rasgos de comportamiento en cerdos en crecimiento en experimentos combinados.

**Tabla 1.5 Relación entre el sitio de digestión de nutrientes y rasgos de comportamiento en cerdos en crecimiento (proteína).**

	Alimento/Ganancia en canal	
	Proteína	Materia Orgánica
Digestibilidad ileal		
Experimento 1	- 0.87*	- 0.77*
Experimento 2	- 0.98**	- 0.87*
Digestibilidad fecal		
Experimento 1	- 0.65	0.88**
Experimento 2	- 0.93**	0.93**

FUENTE: Dierick et al (1990).

### **Interdependencia entre fisiología de la digestión y requerimientos nutricionales**

La evaluación de los alimentos parece desplazarse de la medición en alimentos, heces y digesta de polímeros poco definidas y analizados empíricamente tales como proteína bruta, extracto etéreo, fibra bruta, ELN, fibra neutra y ácida detergente, hacia la determinación del suministro al animal de monómeros provenientes del alimento, y que son definidos y analizados exactamente: glucosa, aminoácidos esenciales, monómeros de PNA y ácidos grasos entre otros (Demeyer 1986, Steg et al 1987) a este respecto, Dierick (1991) ha apoyado la sugerencia de Henry et al (1988) de establecer una nueva base de fraccionamiento de nutrientes en reemplazo del procedimiento tradicional de Weende o de los así llamados nutrientes digestibles totales. Más aún, debiera abandonarse los sistemas de evaluación de alimentos que asumen como regla la aditividad de valores de los ingredientes individuales en la ración.

De hecho, crece en importancia la no aditividad en la utilización digestiva y metabólica, con el uso de alimentos diversos y de dietas complejas, debido a la interacción entre los componentes dietéticos, tal es el caso de la relación fibra-proteína.

Dierick (1991) ha sugerido que un sistema de evaluación mejor y más adecuado debería basarse en el análisis de las fracciones de nutrientes apropiados y homogéneos (nutrientes digestibles o suministro de monómeros de acuerdo con el sitio de digestión), como se indicó anteriormente, tomando en consideración las interacciones digestivas. A este respecto Dierick (1990) publicó los resultados de una prueba de comportamiento con cerdos en la que se tuvieron en cuenta el punto de vista de digestibilidad ileal, e inclusive in vitro. Esta información aparece en la tabla 1.6.

**Tabla 1.6 Influencia del método de formulación en rasgos de comportamiento en cerdos.**

	<b>Ración 1</b>	<b>Ración 2</b>	<b>Ración 3</b>
Peso inicial (kg)	27.5 <sup>a</sup>	27.1 <sup>a</sup>	28.2 <sup>a</sup>
Peso final (kg)	96.7 <sup>a</sup>	94.9 <sup>a</sup>	96.7 <sup>a</sup>
Ganancia diaria (g)	866 <sup>a</sup>	848 <sup>a</sup>	863 <sup>a</sup>
Conversión alimentaria:			
alimento/ganancia	3,203 <sup>ad</sup>	3,313 <sup>d</sup>	3,165 <sup>a</sup>
alimento/ganancia en canal	3,928 <sup>a</sup>	4,088 <sup>b</sup>	3,890 <sup>a</sup>

**Ración 1:** Cebada/harina de soya, formulado según 8995 KJ/kg (EN)  
13.5% proteína digestible  
0.85% lisina total  
0.65% aminoácidos azufrados totales

**Ración 2:** Cebada/harina de soya + subproductos  
Constricción en la formulación igual a la ración 1.

**Ración 3:** Cebada/harina de soya + subproductos formulada según  
Suministro de glucosa  
Digestibilidad ileal de proteína  
Digestibilidad ileal de lisina  
Digestibilidad ileal de aminoácidos azufrados.  
(El suministro de nutrientes en R3 fue igual al de R1)

FUENTE: Dierick (1990).

En este experimento se sugirieron dos métodos diferentes de formulación: el clásico que tenía en cuenta las restricciones convencionales; EN, proteína digestible, lisina total, metionina + cistina total, y la nueva aproximación que consideró el aporte de glucosa, proteína digestible hasta íleon, y en igual sentido, lisina y aminoácidos azufrados.

Los resultados demostraron que cuando se usan subproductos en la fórmula y la formulación se apoya en requerimientos clásicos. El comportamiento zootécnico, medido en términos de conversión alimentaria y ganancia en peso, empeora (ración 2), si se comparaba con la ración 1.

Si por el contrario, la formulación con el subproducto parte del suministro de nutrientes (aporte de glucosa medido in vitro) y del contenido de aminoácidos digestibles hasta el íleon (medido lo mismo in vivo que in vitro) tal como se hizo con la ración 3, entonces se puede obtener el mismo comportamiento que con la ración 1.

Es evidente que el uso del aporte de nutrientes o de la digestibilidad ileal fue de una precisión más alta en la formulación de dietas para cerdos, y en particular hace un uso más eficiente de subproductos y materias primas menos comunes y menos bien digeridos.

El uso potencial de este sistema en la aplicación práctica de formulaciones de costo mínimo en la industria alimentaria animal dependerá de la disponibilidad de los datos necesarios, las cuales todavía no son abundantes, pero están en incremento continuo.

Por otra parte, los requerimientos de cerdos en términos de aminoácidos digestibles hasta íleon o de monómeros, necesitarían ser establecidos antes de que el sistema pueda ser usado rutinariamente como la base de una formulación más racional.

## REFERENCIAS.

- Demeyer O. 1986. Proc. KVIV Studiedag Voedereiwitwaardering. Melle.
- Dierick N A 1990. Proc. IWONL Studiedag Comité voor de Studie van de Varkensvoeding en zicklen. Gent. p. 25-30.
- Dierick N A 1991. Proc. Int. Congr. Pig Farming. Brussels p. 2.1-2.8
- Dierick N A, Vervaeke I, Decuypere J y Henderickx H. 1990. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 63:220-235.
- Henry Y, Vogt H y Zoiopoulos P 1988. Livestock Prod. Sci. 19: 299-354.
- Imbeah M, Sauer W y Mosenthin R. 1988. J. Anim. Sci. 66:1409-1417.
- Just A, Jorgensen H y Fernández J A 1983. Livest. Prod. Sci. 10:487-506.
- Laplace J P, Darcy-Vrillon B, Pérez J, Haniy Y, Giger S y Sauvann D 1989. Brit. J. Nutr. 61:75-87.
- Livingstone R y Fowler V 1987. Proc 38th Reunión FEZ. Lisboa.
- Muller H y Kirchgessner M. 1986. Pig News Inf. 7:419-424.
- Siers DG 1975. J. Anim. Sci. 41:1266-1269.
- Steg A, Vander Meer J, Smith J y Hindler Va 1987. Jaurverslay IVVO (Lelystad) p. 21-29.
- Vervaeke I, Dierick N A, Demeyer D y Decuypere J 1989. Anim. Feed. Sci. Technol 23:169-194.
- Vervaeke I, Dierick N A, Demeyer D, Decuypere J y Henderickx H 1989. Med. Fac. Landbouw. Rijkuniv Gent 54:1343-1355.

## **CAPITULO II**

### **Anatomía del tracto gastrointestinal del cerdo. Métodos de medición en órganos. Evolución del tracto gastrointestinal y las glándulas anexas en relación con la edad. Aspectos morfométricos**

#### **Introducción**

El cerdo no posee un tracto gastrointestinal con modificaciones anatómicas complicadas aún incluyendo la boca y el esófago. Este animal presenta un estómago monocavitario un intestino delgado largo y un intestino grueso que sin ser tan especializado como en otros animales monogástricos pero que son herbívoros como el caballo y el conejo, es más complejo que el de otros omnívoros como la rata y el hombre o como el de los carnívoros.

Existen descripciones detalladas de todo el sistema digestivo del cerdo ya que incluyen glándulas participantes en la digestión como el hígado y el páncreas (ver por ejemplo Bourdelle 1964; Sisson y Grossman 1953) y también de diferentes factores que influyen en el peso y la longitud de los diferentes órganos o secciones del tracto gastrointestinal (Ly 1979).

A continuación se hará referencia al aumento de la capacidad de digestión y absorción del cerdo en interdependencia con el desarrollo del estómago e intestinos del animal haciendo hincapié en los factores que influyen tal capacidad.

#### **Métodos de medición de órganos**

Los diferentes órganos del tracto gastrointestinal suelen medirse fundamentalmente desde el punto de vista de su peso y de su volumen o capacidad y en el caso de los intestinos delgado y grueso también se mide su longitud (Kvasnitskii 1951). Esto no significa que no se hayan desarrollado métodos más refinados como el análisis de una circunsección del intestino delgado que consiste en la evaluación cuantitativa de una lámina fina del órgano obtenida por un corte perpendicular al eje intestinal.

De esta forma se puede cuantificar la participación de la musculatura la lámina propia y la mucosa de la pared intestinal y aún los constituyentes de la mucosa como tal (Pekas 1986 a, b). Todas estas mediciones se hacen post-mortem.

La forma más fácil de medición es la determinación del peso del órgano lo cual se hace generalmente pesándolo lleno y vacío después de aislarlo del resto del tracto. El volumen o capacidad de admisión de digesta de un órgano digestivo se efectúa de la forma más adecuada si se llena el órgano con agua cuando a su vez el mismo esté sumergido en este líquido. Es preciso ligar los orificios de entrada y salida de la sección en cuestión una vez que están igualadas las presiones a ambos lados de la pared digestiva. De la misma forma Kvasnitskii (1951) ha recomendado la medición de la longitud intestinal después de llenar el órgano con agua inmediatamente después de la separación del mesenterio.

Uno de los aspectos que más puede influir en las mediciones de los órganos digestivos lo es el sacrificio de animales a diferentes tiempos después de la última comida debido a que como ha señalado Kvasnitskii (1951) la pared digestiva estará distendida en mayor o menor grado. Para demostrar lo anterior Kvasnitskii sacrificó 2 grupos de cerdos 5 y 15 horas después de la última comida (tabla 2.1).

**Tabla 2.1 Efecto de la extensión del período postprandial en la morfología del tracto gastrointestinal.**

	Período Postprandial (h)	
	5	15
Peso Corporal (kg)	155.0	154.6
Estómago:		
Volumen (l)	6.0	6.0
Peso (kg)	0.9	0.9
Intestino delgado:		
Volumen (l)	19.4	17.7
Peso (kg)	2.4	2.3
Longitud en reposo (m)	5.0	9.4
Longitud en acción (m)	18.0	11.9
Intestino grueso:		
Volumen (l)	18.8	18.6
Peso (kg)	2.2	2.2

FUENTE: Kvasnitskii (1951)

Otro aspecto importante en las mediciones de órganos lo es el informar el peso corporal del animal en el momento del sacrificio o referir el dato del órgano en cuestión en relación con este peso vivo. En líneas generales las medidas de capacidad volumen o longitud de los órganos digestivos no se han hecho en experimentos específicamente diseñados para buscar esa respuesta.

En la mayoría de las publicaciones que brindan datos de la morfometría gastrointestinal del cerdo estas son complementarias de otras, tales como índices digestivos o rasgos de comportamiento y canal y se circunscriben a rasgos ponderales más bien que a capacidad y longitud (Ly 1979).

#### **Evolución del tracto gastrointestinal y las glándulas anexas en relación con la edad**

Se sabe que el crecimiento del tracto gastrointestinal se estimula por el alimento en el tracto y por hormonas que no son gastrointestinales.

Un ejemplo o de esto último pudiera ser el experimento informado por Taverner y Campbell (1988), quienes inyectaron o no diariamente la hormona somatotropa porcina a cerdos entre 60 y 90 kg.

En el momento del sacrificio Taverner y Campbell (1988) obtuvieron datos morfométricos del sistema digestivo así como muestras ileales y rectales de digesta para determinar índices digestivos. Se hizo evidente que la hormona del crecimiento influyó profundamente en índices ponderales y de longitud del sistema digestivo salvo en el peso del intestino grueso a la par que favoreció la digestibilidad de la dieta (tabla 2.2).

**Tabla 2.2 Índices morfométricos del sistema digestivo y digestibilidad en cerdos sin o con tratamiento diario de hormona somatotropa.**

	<b>INYECCION IM</b>	<b>ug/kg</b>
	<b>0</b>	<b>100</b>
Vísceras vacías (kg)	7.44	8.25
Peso (g):		
Estómago	485	544
Intestino delgado	1215	1454
Intestino grueso	1164	1180
Hígado	1650	2090
Longitud (m)		
Intestino delgado	20.6	20.1
Digestibilidad fecal (%)		
Materia seca	78.2	81.4
Nitrógeno	75.3	81.3
Digestibilidad ileal (%)		
Materia seca	36.6	54.5
Nitrógeno	48.7	51.70

FUENTE: Taverner y Campbell (1988).

Se ha sugerido que el efecto del alimento sobre el crecimiento del tracto gastrointestinal puede ocurrir por descamación celular y nutrición local o indirectamente por liberación de gastroenterohormonas por incremento de la motilidad o por estimulación nerviosa. Sin embargo, aunque los datos sobre la regulación del crecimiento del tracto gastrointestinal se revisan periódicamente (ver por ejemplo Johnson 1981), el mecanismo no se comprende aún.

En el cerdo está bien descrito el efecto de la edad en el crecimiento del sistema digestivo desde el punto de vista predominante del incremento en peso de los diferentes órganos que componen el sistema y se ha interpretado el crecimiento más bien como tal aumento en peso hasta la madurez (McMeekan 1959; Hammond 1960) que como la producción de nuevas unidades bioquímicas por división (hiperplasia) o por agrandamiento celular (hipertrofia) o por incorporación de materiales a partir del ambiente (Brody 1945). Uno de los estudios más detallados del crecimiento del tracto gastrointestinal del cerdo fue publicado por Kvasnitskii (1951). Los datos de las diferentes medidas del tracto comprenden desde el nacimiento hasta aproximadamente 15 meses de edad incluyendo a modo de comparación datos correspondientes a 4 años de edad.

Los valores correspondientes a todo el tracto se observan en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3 Velocidad de crecimiento del tracto gastrointestinal del cerdo desde el nacimiento hasta los 18 meses.**

Peso corporal (kg)	Edad (días)	TRACTO GASTROINTESTINAL			
		Peso (kg)	g/kg del peso corporal (%)	Longitud (m)	Volumen (l)
1	1	0.055	55	4.6	0.2
2	10	0.132	66	6.8	0.4
3	20	0.175	58	8.6	1.0
18	70	1.686	94	19.6	10.0
32	115	2.254	70	22.4	19.8
69	208	3.785	55	24.3	28.9
103	255	3.564	35	23.8	27.6
152	380	5.500	36	30.1	39.9
156	428	5.351	34	28.5	41.9
154	449	5.261	34	27.5	39.8
270	1460	6.179	23	29.3	60.9

FUENTE: Kvasnitskii (1951).

De acuerdo con estos resultados, el peso absoluto del tracto gastrointestinal tiende a crecer ininterrumpidamente hasta más allá de las 36 semanas y posteriormente tiende a estabilizarse por lo menos hasta las 64 semanas. Desde el punto de vista de su peso relativo esta magnitud alcanza temprano (10 semanas) un máximo cuando el peso del tracto representa un 9.4% del cuerpo del animal.

En este sentido, el conjunto de datos analizados parece indicar que el peso relativo del tracto gastrointestinal alcanza muy temprano en la vida del cerdo un punto de inflexión en su curva de desarrollo y pudiera situarse entre 3 y 4 meses después del nacimiento.

Desde el punto de vista de la longitud del tracto fundamentalmente en lo que refiere al área pospilórica se observa en los resultados de Kvasnitskii (1951) una elongación muy rápida entre el momento en que nace el animal y las 10 semanas de edad (de 4.6 a 19.6 m). Después parece existir un crecimiento más lento en longitud desde las 10 hasta alrededor de las 54 semanas (de 19.6 a 30.1 m). Las medidas de volumen, aunque pueden estar sujetas a un criterio algo subjetivo en el método de medición también reflejan un rápido crecimiento inicial algo paralelo a la elongación del tracto.

En la tabla 2.4 aparecen los resultados de Kvasnitskii (1951) algo más detallados y explicados en valores absolutos. El mérito de la información de este autor reside en que además del peso de los órganos se ofrecen datos de volumen y longitud lo que da una idea más completa del crecimiento de los distintos compartimientos del tracto.

**Tabla 2.4 Velocidad de crecimiento de diferentes órganos del tracto gastrointestinal del cerdo hasta los 18 meses.**

Peso (kg)	Edad (días)	Peso (kg)	Volumen (cm)	Peso (kg)	Volumen (l)	Peso (kg)	Volumen (l)
1	1	0.005	25	0.040	0.1	0.010	0.04
2	10	0.015	73	0.095	0.2	0.022	0.09
3	20	0.024	213	0.115	0.7	0.036	0.1
18	70	0.232	1815	0.996	6.0	0.458	2.1
32	115	0.360	2500	1.180	10.7	0.714	6.6
69	208	0.685	3170	1.670	13.3	1.380	11.7
103	255	0.754	3400	1.530	14.0	1.280	10.1
152	380	0.980	3550	2.540	20.6	2.010	15.7
156	428	0.844	4560	2.323	19.1	2.184	18.1
154	449	0.980	5160	2.310	17.9	1.970	17.2
270	1460	1.430	12680	1.998	22.6	2.790	25.6

FUENTE: Kvasnitskii (1951).

Es preciso señalar que desde hace tiempo (Hill et al 1970) se ha puntualizado en la practica del destete precoz y la necesidad del uso de dietas adecuadas han estimulado un número considerable de investigaciones sobre el desarrollo de la función digestiva en el cerdo con posterioridad a los estudios hechos por Kvasnitskii (1951).

El destete de los cerdos suele recomendar entre las 3 y 5 semanas después del nacimiento, con un peso corporal que oscila entre los 4.5 y 10 kg (Aumaitre 1965) aunque se señala que en las condiciones prácticas de granja el período de lactancia suele durar 8 semanas. Durante estas primeras semanas de vida extrauterina, ocurren cambios en el patrón de digestión del animal que van desde la absorción del calostro dentro de las horas subsiguientes al nacimiento hasta la adaptación del animal a la sustitución de la leche materna por raciones secas con una composición variada de nutrientes.

Tales cambios en la naturaleza de la alimentación ocurren de forma más o menos paralela con cambios en el patrón de digestión que se modificará en mayor o menor medida de acuerdo con la capacidad digestiva del animal. La evolución de esta capacidad digestiva en el cerdo muy joven está vinculada con el desarrollo bioquímico del tracto gastrointestinal y con el crecimiento de éste y de las glándulas accesorias tal como se ha señalado (Aumaitre 1965; Cranwell y Moughan 1989).

A este respecto en la revisión sobre este tema hecha por Cranwell y Moughan (1989) se ha puntualizado que en los cerditos lactantes la velocidad de crecimiento del estómago, el intestino delgado y el páncreas es menor que la de todo el animal siempre que el animal sea lactante, y sólo a partir del momento del destete ocurre un cambio en el sentido de invertirse los términos de crecimiento o de los órganos mencionados y de todo el cuerpo.

Cranwell y Moughan (1989) han indicado que como conclusión se puede considerar que el cerdo destetado requiere un sistema digestivo más grande que el cerdo lactante para poder digerir y absorber satisfactoriamente las dietas postdestete que son inherentemente menos digestibles que la leche materna a fin de mantener una velocidad de crecimiento satisfactoria. Sin embargo, hasta el presente no se conoce bien aún el período de tiempo que necesita el cerdito para que su sistema digestivo sobrepase esta limitante.

Un resumen de las relaciones existentes en el cerdito lactante entre el peso o longitud del intestino delgado y el peso del estómago de una parte (y) y el peso corporal de la otra (x) ha sido sugerida por Moughan et al (1992). Estas relaciones aparecen en la tabla 2.5.

**Tabla 2.5 Interdependencia entre medidas de órganos del sistema digestivo y el peso corporal de cerditos lactantes (hasta 11 kg).**

Organo	Medida	Ecuación de predicción	R <sup>2</sup>
Estómago	Peso (g)	$y = 6.49x - 1.392$	0.89
Intestino delgado	Peso (g)	$y = 34.68x - 9.89$	0.98
	Longitud (cm)	$y = 109.15x - 242.38$	0.92

x expresado en kg

FUENTE: Moughan et al (1992).

Los datos anteriormente presentados pudieran considerarse como un complemento muy importante de otros publicados anteriormente por Laplace (1970) para cerdos entre 12 y 161 kg de peso vivo (tabla 2.6).

**Tabla 2.6 Interdependencia entre medidas de órganos del sistema digestivo y el peso corporal de cerdos en crecimiento (entre 12 y 161 kg).**

Organo	Medida	Ecuación de predicción	R <sup>2</sup>
Estómago	Peso (g)	$y = 140.5 + 4.1x$	0.83
Hígado	Peso (g)	$y = 477.7 + 11.6x$	0.76
Intestino delgado	Peso (g)	$y = 7.5 + 677.2$	0.58
	Longitud (cm)	$y = 1411.0 + 2.5x$	0.26

x expresado en kg

FUENTE: Laplace (1970).

### **Factores que influyen en el desarrollo anatómico del sistema digestivo del cerdo**

La morfología del sistema digestivo del cerdo puede ser alterada en mayor o menor grado por diferentes causas las cuales pudieran clasificarse a groso modo en las que no son de origen estrictamente nutricional y las que sí lo son.

Entre los factores que pudieran influir en la morfología del sistema digestivo de esta especie y que no tienen un origen nutricional pudieran mencionarse el efecto de sexo el de la resección de alguna parte del tracto gastrointestinal, modificaciones anatómicas, cambios en la frecuencia de suministro de alimentos o del modo de presentación de los mismos a los animales, como pudieran ser el de cambios en el tamaño de partículas o de brindar la ración diluida con agua. También entre estos factores pudiera mencionarse los efectos de raza y hormonal o de introducción de aditivos en la dieta. Algunos de estos factores serán comentados a continuación.

Para un consumo ajustado al 9.5% del peso metabólico Kornegay y Vander Noot (1968) hallaron una tendencia hacia un estómago con una mayor capacidad y más pesados en los cerdos que ingirieron una dieta muy voluminosa por la dilución con agua. Algo parecido se notó en relación con el peso del intestino grueso, pero no con el del intestino delgado. Como consecuencia lógica el peso de todo el tracto ajustado al peso corporal de los cerdos que ingirieron una dieta acuosa fue un 4% mayor que en las dietas sin dilución.

Paralelamente a ello hubo un deterioro evidente en los rasgos de comportamiento, y el espesor de la grasa dorsal fue mayor. De los datos de digestibilidad obtenidos, se observó una disminución en la

digestibilidad de la grasa y de la fibra que se hizo muy marcado para el extracto libre de nitrógeno y la energía. Sin embargo la dilución de la dieta con agua no modificó la digestibilidad de la MS y el nitrógeno.

Por otra parte Kornegay y Vander Noot (1968) informaron no hallar efecto alguno en el peso absoluto y relativo del hígado y de otros órganos.

**Tabla 2.7 Efecto del consumo de dietas diluidas con agua o no, sobre el peso de órganos digestivos en cerdos.**

	DIETA	
	Seca	Húmeda
Contenido de agua (%)	10	85
Consumo (kg/día)		
Fresco	1.87	12.02
Seco	1.87	1.96
Órganos (kg)		
Estómago	0.424	0.486
Intestino delgado	1.098	1.158
Intestino grueso	1.120	1.304
Total	2.642	-2.948
Órganos (g/kg PC)		
Estómago	5.6	6.0
Intestino delgado	14.5	14.3
Intestino grueso	14.8	16.1
Total	34.9	36.4
Capacidad estómago (kg)	1.82	3.34

0.73 Rango de peso corporal: 48-75 kg. Consumo ajustado al 9.5% W

FUENTE: Kornegay y Vander Noot (1968).

El mejoramiento genético de los cerdos, tanto por medio del cruzamiento como por la selección, ha incidido sobre las características del tracto gastrointestinal. Un trabajo muy ilustrativo sobre los efectos del cruzamiento del cerdo salvaje europeo con el Landrace danés fue informado por Clausen (1953). De acuerdo con la información aportada (tabla 2.8) a medida que progresaba el cruzamiento desde un retrocruce con un 75% de sangre de cerdo salvaje europeo hasta un animal F5 con sólo 3.1% de esa misma sangre paralelamente con la mejoría en los rasgos de comportamiento se obtuvo un incremento en la longitud del intestino delgado y del intestino grueso (1.6 y 1.1 veces más largos).

Como consecuencia de ello la elongación de todo el intestino fue de 1.5 vez para el F5 con respecto al retrocruce. Es muy evidente que la contribución del intestino delgado al crecimiento de todo el intestino fue decisiva. Por otra parte el diámetro del intestino delgado creció desde 24.6 m hasta 29.7 m para el retrocruce y el cerdo F5 (1.2 veces mayor). El alargamiento del intestino delgado y el aumento de su superficie aparente (2 veces), sin tener en cuenta en este último caso el extraordinario incremento de la superficie de la mucosa por la presencia de los villi, hace pensar que la utilización digestiva debió ser más eficiente a medida que por el cruzamiento los animales tenían una proporción mayor de sangre Landrace.

Por otra parte el poco crecimiento en longitud del intestino grueso, sugiere que esta sección del tracto gastrointestinal tiene una mayor importancia en los animales salvajes. Esta importancia residiría en la digestión compensatoria por la vía fermentativa que puede tener lugar en el intestino grueso de los cerdos.

El peso del estómago de acuerdo con los datos de Clausen (1953) también se incrementó notablemente al comparar el retrocruce con el F5 (1.5 vez). Ello permite suponer en cuanto al estómago un aumento en la capacidad de admisión de alimento durante el acto prandial y también un aumento en la función de reservorio que tiene este órgano aparte de otras secretoras y motoras.

**Tabla 2.8 Efecto del cruzamiento sobre la morfometría del tracto gastrointestinal y rasgos de comportamiento en el cerdo.**

	<b>Retrocruce</b>	<b>F<sub>1</sub></b>	<b>F<sub>3</sub></b>	<b>F<sub>5</sub></b>	
Generación de cerdo salvaje europeo (%)	15	50	12.5	3.1	
Landrace (%)	25	50	87.5	96.9	100
Edad (días)					
A los 20 kg	142	107	85	80	76
A los 90 kg	388	256	198	181	180
Ganancia diaria (kg)	0.283	0.469	0.592	0.695	0.674
Longitud (m)					
Intestino delgado	13.81	16.50	17.69	21.38	21.32
Colón y recto	4.41	4.18	4.44	4.64	4.68
Total	17.95	20.48	22.13	26.02	26.00
Diámetro del intestino delgado (mm)	24.6	25.0	28.7	29.7	31.7
Peso del estómago (kg)	0.424	0.484	0.556	0.616	0.620

FUENTE: Clausen (1953).

Desde el punto de vista de la selección se han hallado diferencias genéticas en cuanto al peso de órganos del sistema digestivo. A este respecto Pond et al (1988) estudiaron cómo variaban morfométricamente diferentes órganos de cerdos genéticamente magros, obesos o normales cuando se alimentaban con dietas que contenían 1% u 80% de harina de alfalfa (tabla 2.9). Pond et al (1988) observaron que no había interacción genotipo x dieta, y que los cerdos obesos mostraban, junto con un mayor espesor de grasa dorsal y menor área del músculo longissimus, hígado, estómago y colon menos pesados que los cerdos magros o normales. También esos cerdos contenían menos volúmenes de digesta que a su vez eran más acuosas en comparación con los otros genotipos. Pond et al (1988) han hecho hincapié en que la contribución visceral a la producción de calor del animal en ayunas es de mucho peso debido a su alto ritmo metabólico por consiguiente esta contribución sería menor en los cerdos obesos. Por otra parte estos investigadores también sugirieron que un menor contenido cólico de digesta en los cerdos obesos concuerda con una menor longitud del intestino delgado y menor peso del colon: ello podría interpretarse en el sentido de que el tránsito de digesta debe ser más rápido en el genotipo obeso lo que pudiera redundar en una menor digestibilidad de la fibra.

**Tabla 2.9 Efecto del genotipo en los rasgos de canal y pesos de órganos de cerdos alimentados con niveles alto y bajo de harina de alfalfa.**

Genotipo Nivel de alfalfa	OBESO		MAGRO		NORMAL	
	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Área del músculo longissimus (cm)	19.6	17.6	28.2	34.9	30.2	38.1
Espesor de grasa dorsal (cm)	53.4	64.9	25.1	27.3	20.9	32.7
Peso de los órganos (g/kg PC):						
Estómago	5.28	4.03	6.34	5.20	6.43	4.33
Intestino delgado	5.53	4.6	8.03	6.37	6.90	6.27
Ciego	1.58	1.27	1.72	0.94	1.67	1.41
Colon	10.61	6.95	13.20	10.64	12.61	10.74
Hígado	8.66	8.09	9.08	8.93	10.10	9.17

FUENTE: Pond et al (1988).

El efecto del genotipo en la capacidad digestiva y los órganos relacionados con la digestión también ha sido estudiado en razas tan disímiles como la Large White y la raza china Meishan. A este respecto Février et al (1988) informaron que estos dos genotipos difieren en su habilidad para digerir una dieta fibrosa y para retener el nitrógeno ingerido a la par que hay diferencias evidentes en la morfología gastrointestinal (tabla 2.10). Más explícitamente los cerdos Meishan digieren más eficientemente dietas fibrosas pero retienen menos nitrógeno dietético posiblemente por una menor capacidad de síntesis proteica.

**Tabla 2.10 Efecto del genotipo en índices digestivos y la morfología gastrointestinal de cerdos alimentados con dos niveles de fibra.**

Nivel dietético (%) Fibra Cruda FND	2.61 8.71		5.96 21.19	
	Large White	Meishan	Large White	Meishan
Digestibilidad (%)				
Fibra Cruda	33.9	40.7	22.3	32.2
FND	42.8	48.3	36.4	44.1
Retención de N (%)	45.5	30.7	38.3	29.7
consumo)	92.5	71.8	95.9	72.4
Peso final (kg)	525	465	562	512
Peso de órganos (g)	1619	1230	1692	1493
Estómago	148	122	158	157
Intestino delgado	1266	1305	1757	1805
Ciego	1552	1102	1672	122
Colon				
Hígado				
Longitud de órganos (m)				
Intestino delgado	21.0	17.8	21.7	17.9

FUENTE: Février et al (1988).

El efecto hormonal en la morfología de órganos del sistema digestivo de cerdos también ha sido estudiado en varias oportunidades. Como ilustración en la tabla 2.11 aparecen indicadores medidos por Bidanel et al (1991) en cerdos Meishan o Pietrain tratados con la hormona somatotropa porcina.

**Tabla 2.11 Efecto del genotipo y de la hormona somatotropa porcina exógena (PST) en el peso de órganos del sistema digestivo del cerdo.**

	Meisham		Pietrain	
	Control	pST	Control	pST
Peso de los órganos (kg)				
Estómago	0.69	0.99	0.45	0.53
Intestino delgado	1.23	1.65	1.22	1.38
Intestino grueso	2.21	2.12	1.14	1.25
Hígado	1.61	2.13	1.62	1.92
Peso de contenido digestivo (kg)				
Estómago	0.80	1.33	0.29	0.35
Intestino delgado	0.40	0.53	0.32	0.39
Intestino grueso	1.72	2.39	0.94	1.12

Inyección IM diaria de 6 mg entre 60 y 100 kg

FUENTE: Bidanel et al (1991).

El tratamiento con la hormona somatotropa incrementó el peso de todos los órganos del sistema salvo el del intestino grueso en los cerdos Meishan. Igualmente ocurrió con el contenido gástrico e intestinal en ambos genotipos extremos. Debe asumirse que en paralelo aumentó la digestibilidad de la dieta.

Entre los factores de naturaleza estrictamente nutricional que pueden influir en la morfometría de los órganos digestivos figuran el efecto del plano de alimentación, el de la fibra dietética así como el de la naturaleza de los carbohidratos incluidos en el alimento.

En lo que se refiere al plano de alimentación, en varias oportunidades se han publicado distintos aspectos del efecto dietético sobre las características morfológicas del tracto gastrointestinal. En este sentido son clásicos los trabajos de McMeekan (1940 a, b) y muy ilustrativos los publicados en una época más cercana por el grupo de Sidor (ver por ejemplo Sidor y Kovac 1970).

En el experimento de Sidor y Kovac se utilizaron 48 cerdos machos castrados Piebal. De ellos se sacrificaron 10 al comienzo del experimento. Los 38 animales restantes se dividieron en dos grupos que se alimentaron con un plano nutritivo alto o bajo desde los 20 hasta los 50 kg. Cuando se arribó a este último peso 8 de los cerdos se sacrificaron y el resto (30) se dividieron en 4 grupos de 7 u 8 animales cada uno, que se alimentaron con un plano igualmente alto o bajo pero de manera que durante la etapa de 20 a 90 kg el plano no variara (alto-alto AA; bajo-bajo BB) o sí lo hiciera (bajo-alto BA; alto-bajo, AB). Los planos de alimentación BA o AB representaron el 75% del AA, mientras que el BB, fue el 70%. Los resultados en cuanto a características de órganos del tracto gastrointestinal y del hígado aparecen en la tabla 2.12.

**Tabla 2.12 Efecto del plano de alimentación sobre el peso de órganos digestivos en el cerdo.**

Etapa del experimento	INICIAL	FINAL			
		AA	BA	AB	BB
<b>Plano de alimentación</b>					
Edad (días)	65	170	196	223	257
Peso corporal (kg)	18.8	86.7	86.1	86.6	85.4
Peso (g)	190	605	591	540	526
Estómago	670	1345	1036	982	901
Intestino delgado	490	1625	1577	1450	1357
Intestino grueso	1350	3575	3204	2972	2784
Total	490	1550	1272	1190	1010
Hígado					
Peso (g/kg PC)					
Estómago	10.1	7.0	6.9	6.2	6.2
Intestino delgado	35.6	15.5	12.0	11.3	10.6
Intestino grueso	26.1	18.7	18.3	16.7	15.9
Total	71.8	41.2	37.2	34.3	32.6
Hígado	26.1	17.9	14.8	13.7	11.8
Longitud (cm)					
Intestino delgado	1300	1716	1643	1514	1412

El consumo no aparece descrito. A, plano alto; B, plano bajo.

FUENTE: Sidor y Kovác (1970).

Sidor y Kovác (1970) comentaron que los diferentes niveles de alimentación modificaron el crecimiento del sistema digestivo. Se argumentó que la longitud del intestino delgado decreció paralelamente con la disminución del plano.

En general algo similar ocurrió con el peso de los órganos de la digestión. Por otra parte la mayor velocidad de crecimiento ponderal entre los 20 y los 90 kg de peso corporal correspondió al intestino grueso independientemente del nivel de alimentación y le siguieron en orden de importancia el estómago y el intestino delgado.

Existe suficiente evidencia experimental para asegurar que el peso de los órganos digestivos aumenta con el nivel de fibra dietética (ver Ly 1979). Uno de los trabajos en los que se estudiaron niveles relativamente bajos de alfalfa como un factor modificador de la morfometría gastrointestinal corresponde a Hochstetler et al (1959). Estos investigadores obtuvieron mezclas de un contenido de fibra que alcanzó aproximadamente 2.5; 5.5 y 8% en la dieta.

Con la elevación del nivel de alfalfa el peso del tracto gastrointestinal se incrementó: por ejemplo, en el tratamiento con un 20% de alfalfa, el conjunto de órganos digestivos fue un 7.7% superior al tratamiento control.

Tanto el intestino delgado como el grueso fueron los responsables de este incremento ponderal. El contenido del intestino grueso se elevó en un 38% al comparar los tratamientos extremos (tabla 2.13).

**Tabla 2.13 Efecto del nivel de alfalfa en la dieta sobre el peso estimado de órganos digestivos en el cerdo.**

	Nivel de Alfalfa en la dieta (%)		
	0	10	20
<b>Peso corporal (kg)</b>	<b>94.3</b>	<b>95.7</b>	<b>93.9</b>
Peso (kg)	0.544	0.590	0.544
Estómago	1.724	1.950	1.950
Intestino delgado	1.860	1.814	1.950
Intestino grueso	4.128	4.354	4.444
Total			
Peso (g/kg PC)			
Intestino delgado	5.8	6.2	5.8
Intestino grueso	18.3	20.4	20.8
Total	19.7	19.0	20.8
	43.8	45.5	47.3
Peso del contenido (kg)			
Estómago	0.136	0.136	0.227
Intestino delgado	0.053	1.406	1.315

Rango de peso corporal, 15-95 kg aproximadamente.  
 El sacrificio se realizó después de 24 h de ayuno.  
 Dieta basal de maíz-soya.

FUENTE: Hochstetler et al (1959).

Un trabajo contemporáneo al de Hochstetler et al (1959) fue publicado por Horszczaruk (1962). En el experimento informado los niveles de fibra alcanzaron 4.0; 7.5 y 11.0% en base seca de dietas brindadas a cerdos de 120, 5-134, 0 kg provistos o no de cánulas cecales. Antes del sacrificio se midió la velocidad de tránsito de digesta por todo el tracto y entre el ciego y el recto mediante la inclusión de un marcador en el alimento.

Aún en animales con un peso corporal tan alto Horszczaruk (1962) halló que al elevar con celulosa comercial el nivel dietético de fibra se incrementó la capacidad del intestino delgado y del ciego (tabla 2.14). Sin embargo, no se observó influencia de la fibra en la capacidad del intestino grueso ni tampoco en el peso y longitud de las distintas secciones del tracto gastrointestinal.

Por otra parte en los cerdos que recibieron el nivel más alto de fibra la velocidad de tránsito de la primera porción de la ración se demoró aproximadamente 6 horas más mientras que la de la última porción se adelantó unas 18 horas a la de los cerdos que comieron la dieta con menos fibra.

La excreción de las primeras porciones del indicador que se administró con el alimento y las del que se introdujo en el ciego tuvo lugar aproximadamente al mismo tiempo. Sin embargo las últimas porciones del indicador introducido en el ciego se excretó cerca de 36 horas antes que el dado en la comida. Según Horszczaruk (1962) esto indicó que parte de la ración permanece en áreas prececales el mismo tiempo.

**Tabla 2.14 Longitud y capacidad de órganos del tracto gastrointestinal y tránsito de digesta en cerdos alimentados con dietas con niveles variables de fibra.**

	FIBRA DIETÉTICA (%)		
	4.0	7.5	11.0
Longitud (m/100 kg PC)			
Intestino delgado	16.52	16.20	16.70
Ciego	0.22	0.22	0.22
Colón y recto	4.62	4.59	5.10
Intestino delgado y grueso	21.36	21.02	22.03
Capacidad absoluta (l)			
Estómago	1.10	4.58	5.45
Intestino delgado	14.36	14.67	18.81
Ciego	1.42	1.67	2.60
Colón y recto	14.91	14.02	16.90
Todo el tracto	31.79	34.94	43.76
Aparición inicial del marcador (h)			
Tránsito boca-recto			
Animales canulados	12-18	12-18	18-24
Animales intactos	12-18	12-18	12-18
Tránsito ciego-recto			
Animales canulados	12-18	12-18	12-18
Aparición final del marcador (h)			
Tránsito boca-recto			
Animales canulados	84-90	84-90	66-72
Animales intactos	78-84	84-90	78-84
Tránsito ciego-recto			
Animales canulados	48-54	48-54	48-54

FUENTE: Horszczaruk (1962).

Una de las implicaciones que pudiera derivarse de este experimento de Horszczaruk (1962) es que en animales ya no jóvenes es difícil manipular la morfometría gastrointestinal mediante la fibra dietética. Sin embargo, esta última aún así es capaz de influir en otros indicadores de la digestión como lo es el tránsito de digesta.

El tema de la fibra no aparece agotado un cuarto de siglo después sino que nuevas implicaciones nutricionales han sido propuestas. A este respecto Pond (1989) ha sugerido que debido a que existe una correlación estrecha entre el peso vacío de los órganos viscerales y la producción de calor en ayunas se pudiera predecir cierto aumento en la conversión alimentaria en cerdos alimentados con altos niveles de fibra además de la reducción de la digestibilidad de la energía de la comida. El efecto de niveles muy altos de harina de alfalfa en la morfometría del sistema digestivo de cerdos encontrado por el equipo de investigaciones de Pond aparece en la tabla 2.15.

**Tabla 2.15 Efecto del nivel de harina de alfalfa dietética (alto, 80%; bajo, 1%) en rasgos de canal y la morfometría gastrointestinal de cerdos genéticamente obesos, magros o sin selección.**

	OBESOS		MAGROS		SIN SELECCION	
	Alto	Bajo	Alto	Bajo	Alto	Bajo
Peso vivo (kg)	83.4	100.0	92.7	110.3	97.5	119.6
Peso en canal (kg)	60.0	75.6	62.7	78.8	67.1	88.1
Espesor de grasa dorsal (mm)	53.4	64.9	25.1	27.3	20.9	32.7
Órganos (g/kg PC)						
Hígado		8.09	9.08	8.96	10.10	9.17
Estómago	8.66	4.03	6.34	5.20	6.43	4.33
Intestino delgado		4.66	8.03	6.37	6.90	6.27
Ciego	5.28	1.27	1.72	0.94	1.67	1.11
Colón		6.95	13.20	10.64	12.61	10.74
	5.53					
	1.58					
	10.6					
	1					
Contenido (g/kg PC)						
Cecal		0.10	0.44	0.24	0.33	0.12
Cólico	0.28	1.6	7.4	3.5	6.6	2.8
	3.5					
MS de digesta (%)						
Cecal	8.9	10.3	10.6	8.4	9.5	10.3
Cólica	18.2	24.7	18.3	21.0	18.8	22.4

FUENTE: Pond et al (1988).

Un constituyente no necesariamente habitual del extracto libre de nitrógeno, la lactosa, parece incidir sobre el peso del tracto gastrointestinal. También parece hacerlo el suero de leche el cual suele contener entre un 65 y un 75% de lactosa en base seca.

Un experimento específicamente dedicado al efecto de la lactosa sobre la morfometría cecal fue reportado por Shearer y Dunkin (1968). Estos investigadores neozelandeses probaron niveles de 0, 15, 30 y 45% de lactosa en el alimento y notaron variaciones de interés en las características del ciego de los cerdos. Los resultados de ese experimento se ofrecen a continuación en la tabla 2.16.

**Tabla 2.16 Efecto del nivel de lactosa sobre la morfometría cecal en el cerdo.**

	Nivel de Lactosa (% en MS)			
	0	15	30	45
<b>Peso (kg)</b>				
Fresco	0.082	0.111	0.118	0.128
Seco	0.023	0.026	0.027	0.029
Volumen	0.091	0.113	0.135	0.141
(l)	0.026	0.026	0.028	
Longitud (m)				

Peso de sacrificio: 54.5 kg aproximadamente.

FUENTE: Shearer y Dunkin (1968).

No se registró efecto dietético sobre la longitud del órgano pero el volumen y el peso del ciego aumentaron consistentemente a medida que el porcentaje de lactosa se incrementó en la dieta. Estos resultados son explicables si se acepta el hecho de cierta incapacidad para la digestión de la lactosa por parte de los cerdos, lo cual ha sido objeto de argumentación por parte de Février (1969). Este investigador observó que el peso del intestino grueso (ciego y colon) se incrementaba desde 2.60 kg en el tratamiento control (almidón de maíz y harina de pescado) hasta 3.60 kg en otro tratamiento con un 60% de suero de leche suministrado en forma seca (un 38% superior).

Por otra parte también el estómago incrementó ligeramente su peso sobre todo en los machos castrados, mientras que el intestino delgado y el hígado no mostraron variación atribuible al tipo de alimento. Entre las modalidades de este experimento de Février (1969) puede citarse que el rango de peso estudiado fue entre 22 y 98 kg en cerdo Large White; además el alimento se suministró a los animales en forma líquida (tres partes de agua por una de comida).

El incremento del peso del íleon del ciego y del intestino grueso también volvió a observarse en un nuevo experimento de Février y Aumaitre (1972) en cerdos Large White de alrededor de 100 kg con niveles de 60% de suero de leche en la dieta seca. Aún a niveles más bajos (20%) y con suero de leche preparado de formas diferentes: dulce, ácido o neutralizado se presentó el mismo fenómeno de agrandamiento del ciego y del intestino grueso con cualquiera de las variantes de la fuente de lactosa (Février et al 1973). Las cifras aparecen en la tabla 2.17.

**Tabla 2.17 Efecto del nivel de suero de leche seco sobre el peso del intestino grueso en el cerdo.**

	<b>Testigo</b>	<b>Dulce</b>	<b>Acido</b>	<b>Neutralizado</b>
Peso (kg)				
Ciego	0.188	0.217	0.205	0.208
Intestino grueso	1.651	1.761	1.938	1.804
Peso (g/kg PC)				
Ciego	1.91	2.21	2.09	2.12
Intestino grueso	16.81	17.93	19.73	18.37
Volumen (l)				
Ciego	1.507	1.966	1.798	1.723

Rango de peso: 35 a 100 kg. Peso promedio de sacrificio: 98.2 kg.

FUENTE: Février y Aumaitre (1972).

Un hecho interesante es que tanto en el experimento de Février y Aumaitre (1972) como en el de Février et al (1973) se notó paralelamente al incremento ponderal del intestino grueso una disminución en el rendimiento de la canal, cosa que recuerda el efecto de la fibra sobre igual rasgo.

Existe otro estudio que parece indicar que es precisamente la lactosa la que induce un incremento ponderal del tracto gastrointestinal en cerdos alimentados con suero. Por ejemplo Hanrahan (1969) estudió en cerdos Large White x Landrace entre 23 y 88 kg de peso el efecto de suministrar suero sin lactosa en grandes proporciones, haciendo que las dietas fueran muy acuosas puesto que el concentrado se suspendió en la proporción de 1:3 en agua o suero y 1:6 en suero. Tales tratamientos no difirieron entre sí en cuanto al peso del hígado, del estómago o de los intestinos. Una fuente de carbohidratos no convencional, los desechos de banano con altas proporciones en la dieta (entre el 40 y el 55% de la ración seca) también ha sido determinante en un cambio de peso del tracto gastrointestinal (Le Dividich y Canope 1970).

Estos investigadores usaron cerdos Large White entre 30 y 95 kg de peso corporal y hallaron que los principales segmentos del tracto gastrointestinal, es decir, estómago e intestinos delgado y grueso, presentaron un aumento de peso cuando el banano se ofreció en forma molida o de rebanadas, y en contraste se hizo evidente una reducción de peso de todos los órganos al someter los bananos a la cocción. Esta cocción elevó la digestibilidad de la dieta. Según Le Dividich y Canope (1970), la causa del agrandamiento del tracto gastrointestinal se debió a la naturaleza voluminosa de los bananos

molidos o en rebanadas. Babatunde et al (1975) estudiaron otra fuente de carbohidratos la miel final de caña en su relación con el peso de órganos digestivos en el cerdo. En el informe hecho (tabla 2.18) se señala que los cerdos Yorkshire machos castrados y hembras se alimentaron con niveles de miel final desde 0 hasta 40% de la ración y reemplazaron al cereal en una ración donde los componentes principales eran maíz y harina de maní. El rango de peso fue desde 17 hasta 65 kg.

**Tabla 2.18 Efecto de la miel final sobre el peso del tracto digestivo y del hígado en cerdos.**

	Miel final (% de la dieta seca)				
	0	10	20	30	40
Peso (g/kg PC)					
Tracto	72.3	76.6	78.2	75.7	81.7
digestivo	2.23	2.46	2.52	2.66	2.72
Hígado					

Rango de peso corporal: 17-65 kg. Peso promedio de sacrificio: 64.7 kg

FUENTE: Babatunde et al (1975).

El peso absoluto del tracto gastrointestinal así como el del hígado tendió a aumentar a medida que la miel final sustituyó el maíz lo cual fue también evidente en las cifras de peso relativo. Un hecho interesante ocurrió con el rendimiento de la canal el que fue menor con los mayores niveles de miel final en la dieta.

Debe señalarse que el aspecto más importante de la morfometría del tracto gastrointestinal de cerdos alimentados con dietas de mieles reside en la disminución de la funcionalidad de los órganos reservorios de digesta, esto consiste en un menor peso del estómago mientras que para el intestino grueso hay una disminución de su saculación. Por el contrario, el peso del intestino delgado junto con su longitud tiende a aumentar. Lo anterior se manifiesta de distinta forma en la miel final en comparación con la miel rica (tabla 2.19).

**Tabla 2.19 Características morfológicas de diferentes órganos del tracto gastrointestinal en cerdos alimentados con dietas de maíz o mieles de caña como fuente de energía.**

	Maíz	Miel rica	Miel final
Peso (g/kg PC)			
Estómago	6.58	4.63	4.92
Intestino delgado	11.89	12.91	13.25
Intestino grueso	9.40	11.72	9.97
Tracto gastrointestinal	27.87	29.26	28.14
Longitud (m)			
Intestino delgado	18.2	21.2	18.9
Intestino grueso	3.8	3.7	4.0
Distribución porcentual del peso de los órganos	23.7	16.3	19.1
Estómago	43.4	43.9	46.2
Intestino delgado	32.9	39.8	34.7
Intestino grueso			

FUENTE: Ly y Mollineda (1983).

Se ha sugerido que el peso del estómago esté asociado con su capacidad (Ly y Mollineda 1983) por lo que es lógico pensar que dietas líquidas como las de mieles de caña no favorecen la función de

depósito de digesta del estómago (Ly 1979). A su vez esto es compatible con el incremento en la actividad del intestino delgado en los cerdos alimentados con este tipo de dietas de acuerdo con los resultados de la medición ponderal y de longitud de esta sección del tracto gastrointestinal.

## REFERENCIAS

- Aumaitre, A. 1965. Bull. Soc. Sci. Hyg. Aliment. 53:160.
- Babatunde, G.M., B.L. Fetuga, V.A. y Oyenuga. 1975. J. Anim. Sci. 40:632.
- Bidanel, J.P.; Bonneau, M., Pointillart, A., Grvand J., Mourot, J. y Demade, I. 1991. J. Anim. Sci. 69: 3511-3522.
- Bourdelle, E. 1964. J.B. Bailliere et Fils. Paris.
- Brody, S. 1945. New York, Reinhold Publ.
- Clausen, H. 1953. G.S. Robertson Memorial Lecture, Queen's Univ. Belfast.
- Cranwell, P.D. y Moughan P.J. 1989. Proc. Biennial Conf. Australasian Pig Sci. Assoc. Albury .p 140-159.
- Février, C. 1969. J. Rech. Porcine, Parçs. p 91-98.
- Février, C., Colet, J. y Bourdon, D. 1973. J. Rech. Porcine, Paris. p 79-86.
- Février, C., Bourdon, D.; Aumaitre, A., Peiniau, J., Lebreton, Y. Jaguelin, J., Meziere, N. y Blanchard, A. 1988. Proc. 4th Intern. Sem. Physiol. Dig. Pig. Jablona p 172-179.
- Hammond, J.H. 1960. Growth in living systems. New York, Basic Books.
- Hanrahan, T.J. 1969. Irish J. Agric. Res. 8:721.
- Hill, K.J., Noakes, D.E. y Lowe, R.A. 1970. Newcastle upon Tyne. Oriel Press Ltd.
- Hochstetler, L.N., Hofer, J. A., Pearson, A.M. y Luecke, R.W. 1969. J. Anim. Sci. 18: 1397.
- Horszczaruk, F. 1962. Roczn. Nauk Roln. B80:115-
- Johnson, L.R. 1981. New York. Raven Press 1:169-196.
- Kornegay, E.T. y Vander Noot, G.W. 1968. J. Anim. Sci. 27: 1307.
- Kvasnitskii, A.V. 1951. Gosud. Izdatiel. Sielsco. Liter. Moskvç.
- Laplace, J.P. 1970. Ann Zootech. 19:465.
- Le Dividich, J. y Canope, I. 1970. J. Rech. Porcine, Paris. p 131-135.
- Ly, J. 1979. Centr. Inf. Doc. Agropec. La Habana pp 128.
- Ly, J. y Mollineda A. 1983. Rev. Cubana Cienc. Agric. 17:269-280.
- Mounghan R. T., Birtles M.J., Cranwell P.D., Smith W.C. y Pedraza, M. 1992. World Rev. Nutr. Diet. Basel, Karger 67:40-113.
- McMeekan, C.P. 1940a. J. Agric. Sci., Camb. 30:301.
- McMeekan, C.P. 1940b. J. Agric. Sci., Camb. 30:511
- McMeekan, C.P. 1959. Principles of Animal Production. Whitcomb & Tombi Ltd. London.
- Pond, W.G., Jung, H.G. y Varel, V.H. 1988. J. Anim. Sci. 66:699-706.
- Pond, W.G. 1989. Pig. News Inf. 10:13-15.
- Pekas, J.C. 1986a. Digest. Dis. Sci. 31:79-89.
- Pekas, J.C. 1986b. Digest. Dis. Sci. 31:90-96.
- Shearer, I.J. y A.C. Dunkin. 1968. N. Z. J. Res. 11:923.
- Sidor, V. y L. Kovçc. 1970. Acta Zootech. 21:7.
- Sisson, S. y J.D. Grossman. 1953. W.B. Saunders Co. New York.
- Taverner, M.R. y Campbell, R.G. 1988. Proc. 4th Intern. Sem. Physiol. Dig. Pig. Jablona. p 58.

## CAPITULO III

### **Patrón de consumo del cerdo. Factores que influyen. Interrelación entre el patrón de consumo y los rasgos de comportamiento. Interrelación entre el patrón de consumo y la digestión. Métodos de medición del patrón de consumo**

#### **Introducción**

El patrón de consumo en cerdos, definido como tal la duración de la aprehensión de los alimentos, la velocidad de ingestión y la frecuencia con que come, es de interés tanto desde el punto de vista práctico como fisiológico y así ha sido reconocido desde hace tiempo (Fowler et al 1975).

Al respecto con el transcurso del tiempo, el tema del consumo voluntario en los cerdos ha devenido uno de los más relevantes en las investigaciones que se hacen en esta especie, pues como Cole y Chad (1989) han señalado, el continuo mejoramiento genético para obtener cerdos cada vez más magros permite una alimentación más limitada sin temor a enfrentar consecuencias adversas en la calidad de la canal aún a mayores pesos de sacrificio.

Debe tenerse en cuenta que el patrón de consumo debe estar necesariamente vinculado de forma muy estrecha con el consumo voluntario de alimentos, tal como suele entenderse: la cantidad de alimento que el cerdo ingiere en el ciclo de 24 horas. Por consiguiente muchos de los factores que se han identificado como moduladores del consumo voluntario de alimento también incidieron en mayor o menor medida en el patrón de consumo. Aún así el objetivo de este capítulo está más bien centrado en el interés de saber cómo se integra el patrón de consumo con aspectos de la digestión y absorción de los nutrientes de la dieta.

#### **Patrón de consumo del cerdo**

Las informaciones sobre la actividad general de los cerdos en condiciones de estabulación comercial son muy fragmentarias y generalmente se refieren a animales adultos. Si la actividad locomotriz parece ser esencialmente diurna, aún con iluminación continua (Facto et al 1959), el tiempo que pasa el cerdo acostado representa, según estos investigadores del 65 al 90% del día. Por otra parte, los períodos de actividad están ligados esencialmente con la alimentación (Heitman et al 1962).

Las influencias sistemáticas de orden etológico o ecológico son temas de estudio actual, y algunos aspectos tales como ambiente, condiciones de alimentación, jerarquía social, espacio vital y otros han sido revisados recientemente por Signoret (1969) concretamente en el cerdo, y por Dantzer (1976) en animales de granja.

Algunos autores han hallado que existen dos períodos diurnos bien delimitados de máxima actividad prandial en el cerdo. El primero aparece entre las 8.00 y 12.00 horas, y el segundo, más intenso, entre las 14.00 y 20.00 horas (Maxwell, Reimann, Noekstra, Kowalczyk, Benevenga y Grummer, 1970; Dantzer y Mailhe 1972).

Otros resultados coincidentes en cuanto a estos dos picos de actividad prandial son los de Halász y Zambo (1969). No obstante, entre las 19:00 y la 1:00 horas puede haber alguna actividad prandial (Auffray, 1975). Este último autor ha reportado que en el período nocturno, los cerdos machos enteros Large White pueden consumir cerca de un 42% de su ingestión diaria. Auffray et al (1974) han reportado que, de día, los cerdos con oferta ilimitada de alimento no suelen efectuar más de 4 comidas diarias, y de noche, no más de 3.

Auffray (1975) ha señalado, no obstante, que el cerdo, al igual que la rata efectúa un gran número de comidas durante el ciclo circadiano. El volumen de estas ingestiones y los intervalos entre ellas es muy variable. Auffray (1975) también ha indicado que al contrario de la rata y otras especies estudiadas (conejo, pollo, chivo), estas comidas están bien individualizadas, y están caracterizadas por una ingestión continua, sin interrupción, con grandes intervalos preprandiales y postprandiales.

En un mismo animal la distribución diurna de los momentos de ingestión es más bien reproducible día a día, en particular en períodos cortos (48 a 72 horas). Sin embargo, esa secuencia difiere con la raza y aún entre animales. Este patrón de consumo individual se establece, generalmente, alrededor de 15 días después del destete. Algunos de estos datos confirman los de Dinusson (1965), Knap (1965) y Lips (1965).

Hacker et al (1973) reportaron que los cerdos prefirieron realizar la actividad prandial en presencia de la luz, puesto que en ese momento consumieron el 68.5% del total diario, y ésta fue la más importante de sus actividades. En el período de luz que prefirieron (6.1 horas/día), los animales dedicaron el 39.8% a comer y el 14% a beber. Estas y otros tipos de actividades medidos por Hacker et al (1973) se muestran en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Actividad general de cerdos en un ambiente iluminado del ciclo de 24 h.**

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>PORCENTAJE DE ACTIVIDAD</b>
Comiendo	19.8
Luchando	5.8
Bebiendo	14.0
Orinando y defecando	9.0
Jugando	9.2

Período de ambiente iluminado: 6.1 h/día

FUENTE: Hacket et al (1973).

Bryant y Ewbank (1974) midieron la actividad general de cerdos alojados en grupos y alimentados ad libitum, en estudios de densidad poblacional. La actividad prandial, dentro del periodo observado entre las 10.30 y las 18.30 horas, constituyó algo menos de la cuarta parte de las 480 minutos observados. Este y otros tipos de actividades se resumen en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2 Actividad general de cerdos alimentados en grupos**

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>PORCENTAJE DE ACTIVIDAD</b>
Activo	22.3
Comiendo	23.1
Acostado activo	9.4
Acostado descansando	12.7
Acostado durmiendo	32.5

Período de observación: 10.30 a 18.30 horas (480 min) en cerdos a partir de 57 kg

FUENTE: Bryant y Ewbank (1974).

Lo que parece evidente es que en el animal despierto, la actividad más importante parece ser la de la ingestión de alimento (Haugse et al 1965; Morrison et al 1968). Por ejemplo, Haugse et al (1965) encontraron que en un ciclo de 24 h, los cerdos solían permanecer descansando un 79.9% del tiempo. Del resto de este ciclo, se invertía un 12.7% en comer y un 7.4% en otras actividades. Los datos de Morrison et al (1968) implican que más de las cuatro quintas partes del ciclo diario se invierten en el descanso y en el tiempo restante, la actividad prandial es el doble de todas las otras. Un resumen de lo anterior aparece en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3 Actividad de los cerdos en un ciclo de 24 horas.**

ACTIVIDAD (% del ciclo)			
Descansando	Comiendo	Otras	
79.9	12.7 <sup>1</sup>	7.4	Haugse et al (1965).
85.2	9.9 <sup>1</sup>	4.9	Morrison et al (1968).
91.7 <sup>2</sup>	8.3 <sup>3</sup>	---	Ruckebusch (1969).
---	2.7 <sup>4</sup>	---	Février (1970).
61.2	14.9	23.8 <sup>6</sup>	Kridder et al (1975).

<sup>1</sup> Alimento concentrado ofertado ad libitum; <sup>2</sup> Comprende las posiciones de acostado, sentado o decúbito ventral en cerdos confinados en jaulas de metabolismo; <sup>3</sup> Incluye las actividades de exoneración; <sup>4</sup> Alimentación a escala. Promedio de todos los tratamientos; <sup>5</sup> Comprende las posiciones de acostado y sentado; <sup>6</sup> Incluye el tiempo en que los cerdos estuvieron parados o bebiendo agua.

Según Février (1970) al acto prandial consta de 3 fases. Se observa una primera fase en sentido estricto que ocurre durante la aprehensión del alimento, una segunda durante la cual el cerdo lame el comedero y finalmente un período durante el cual el animal permanece sin volver a acostarse. Charlet-Lery (1971) ha hecho notar que la segunda fase es inexistente si la ración cubre las necesidades del animal. Por el contrario, la recuperación de la menor partícula de alimento, cuyo comienzo es difícil de apreciar, se prolonga en la medida en que la oferta no cubre sus necesidades.

Durante la aprehensión del alimento, el cerdo suele efectuar numerosas ingestiones de agua (entre 10 y 14) con una duración de 16 a 19 segundos, de acuerdo con Auffray et al (1974). Estos autores también han indicado que una comida sólida está siempre inmediatamente precedida (80% de los casos) o seguida, de una ingestión de agua.

De acuerdo con los datos de tránsito esofágico de la ingesta (Auffray, 1975), la frecuencia de pasaje de bolos de alimento varía poco entre el comienzo y el final de la comida. Sobre esta base se pudiera asumir que el mecanismo de saciedad sólo se hace efectivo después que ha pasado una determinada cantidad de alimento. Por tanto, en el cerdo la aceleración inicial del consumo de alimento no se continúa en una progresiva reducción de la velocidad, tal como ocurre en la rata (Auffray, 1975).

### **Factores que influyen el consumo voluntario en el cerdo**

Se han estudiado varios factores que pudieran modificar el patrón de consumo del alimento. Entre ellos figuran la frecuencia de distribución de alimento, la forma física de presentación, la naturaleza del alimento per se, la temperatura del mismo, el espacio de alojamiento y la edad entre otras. Junto con estos factores en las que se ha investigado su mayor o menor interdependencia, se han estudiado los posibles mecanismos que controlan el consumo de alimentos en esta especie. Estos aspectos serán discutidos a continuación.

Faliu y Griess (1969) hicieron una prueba en la que se midió el efecto de la frecuencia de distribución del alimento en el patrón de consumo. Esto se hizo en busca de ventajas económicas, al distribuir el alimento semanal en 6 comidas, de lunes a sábado, lo que permitiría ahorrar la fuerza laboral el domingo. Los rasgos de comportamiento y canal obtenidos en este experimento fueron buenos. Faliu y Griess (1969) encontraron que los cerdos que ayunaron el domingo, al día siguiente la velocidad de ingestión parecía más débil (un 90% de la de los otros días), y con ello la duración del acto prandial se alargó un 27% más que en el valor promedio. De esta manera en ese primer día postayuno el consumo se elevó un 15% por encima del de los otros días.

La duración de la comida parece depender estrechamente de la forma física en que el alimento es presentado a los animales. En una prueba en que se alimentaban a los cerdos con una ración de cereales, Février (1970) reportó que se obtuvo la más rápida ingestión con la harina húmeda. La

ingestión se hizo más lenta cuando esta misma harina se remojó, y se prolongó aún más cuando el mismo alimento se ofertó en forma de granulado. Esta diferencia se acentuaba por otra parte con la edad.

En otro experimento, Faliu y Griess (1969) encontraron que en el mismo alimento, ofrecido en forma de granulados o de pasta, la velocidad de ingestión era idéntica (42.9 y 43.1 g/min) pero la duración de la comida parecía ser un poco más corta con pasta (35 min en lugar de 42). Cuando el alimento se brindaba como harina seca, la velocidad de ingestión era 3 veces más lenta que con el granulado. Por el contrario, la duración de la ingestión fue 3 veces más larga. Como consecuencia, los animales ingirieron la misma cantidad de alimento, tomando como base de comparación la materia seca. Estas diferencias fueron más evidentes en los animales jóvenes (30 kg) que en otros más viejos (75 kg) según Knap (1966).

Por otra parte, la harina, en este caso una ración con alta proporción de maíz, pero elaborada con un tamaño de partícula variable, no pareció tener influencia en la duración de la ingestión (Maxwell et al, 1970). En animales muy jóvenes Hsia y Liu (1985) encontraron el mismo efecto en la velocidad de ingestión, que a su vez fue menor en los cerdos que consumieron la harina remojada. En la tabla 3.4 se muestran cifras de velocidad de ingestión del alimento, de acuerdo con distintos investigadores.

**Tabla 3.4 Efecto de la forma física de presentación del alimento sobre el patrón de consumo de los cerdos.**

Peso corporal (kg)	Forma física	Velocidad de ingestión g/min	Duración (min)	Consumo (kg)	Referencia
53-96	Granulado <sup>1</sup>	41.8	42	1.73	Faliu y Griess (1969)
	Harina	13.9	114	1.59	
	Pasta <sup>2</sup>	129.3	15	4.53	
53	Granulado <sup>1</sup>	47.6	--	--	Février (1970)
	Harina remojada <sub>1</sub>	66.7	--	--	
47-68	Líquida	230 <sup>3</sup>	--	6.7	Holmes (1970)
30-50	Líquida	52	18	0.94	Ly y Muñiz (1977)
60-75	Granulado	66	8.3	0.55	Auffray et al (1974)
21.7	Harina	14.6	--	--	Hsia y Lu (1985)
	Harina remojada <sub>7</sub>	29.6	--	--	
	Granulado (cm)	19.4	--	--	
	0.2	20.4	--	--	
	0.6	21.7	--	--	
	0.9	21.0	--	--	
	1.3				

<sup>1</sup> Concentrado de cereales; <sup>2</sup> Alimento: agua, 1:2 (MS 33.3%); <sup>3</sup> Alimento: agua, 1:2, 25; <sup>4</sup> Suero de queso; <sup>5</sup> Velocidad mínima estimada entre 25 y 30°C; <sup>6</sup> Miel Final; <sup>7</sup> Alimento: agua, 1:2.

Tanto los datos de Faliu y Griess (1969) como los de Holmes (1970) indican que la ingestión de raciones líquidas es más rápida que la de secas. Utilizando altas cantidades de suero de queso, Holmes (1970) informó que los cerdos (47-68 kg de peso) bebieron el alimento a una velocidad que se calcula como mínima, de 230 g/min, cuando el suero tenía una temperatura de 25°C a 30°C. Los animales ingirieron 6.9 kg de un total de 9 ofertados durante 30 min.

La excesiva dilución de la ración con agua puede implicar un mayor tiempo dedicado a la actividad prandial de acuerdo con Grinjuk y Piashenco (1969), ya que el ofrecer a los cerdos el mismo concentrado con un contenido de agua progresivamente incrementado (65, 73, 81 y 89%) hizo que la actividad relacionada con la comida de los animales fuera de 210, 205, 235 y 260 min. Al parecer, los cerdos adoptan un patrón de consumo característico de acuerdo con lo que comen. Por ejemplo, en

cerdos entre 29 y 64 kg Charlet-Lery (1971) indicó que según se ofertara a los animales o bien cereales, o almidón y celulosa (papel de filtro), o papas cocidas, la duración de la aprehensión era de 20, 30 y 50 min, y la velocidad de ingestión (g MS/min) era de 40, 21 y 22 respectivamente.

Al analizar las pérdidas prandiales de energía, se encontró también por Charlet-Lery (1971) que éstas estaban inversamente correlacionadas con la velocidad de ingestión ( $r = -0.82$ ;  $n = 36$ ). Así se llegó a la conclusión de que la ingestión rápida del alimento representa una liberación de energía que constituye el 2% de la emitida diariamente por el animal en forma de calor. Por el contrario, la ingestión lenta duplica o triplica esa cifra.

Es lógico suponer que el patrón de consumo está relacionado con el sentido del gusto de los cerdos, aunque esto está poco estudiado en la especie (Kare et al 1965; Kennedy y Baldwin, 1972), tal como se ha reseñado desde Baldwin (1976) hasta Lawrence (1991). En estos estudios cuantitativos las sustancias eran sobre todo dulces, o bien nutritivas (sacarosa, lactosa y glucosa) o bien no nutritivas (sacarina y ciclamato de sodio). También se obtuvieron datos de soluciones de cloruro de sodio y de sulfato de quinina.

En el estudio de Kare et al (1965) se empleó el método de selección entre dos recipientes presentados, al mismo tiempo a los cerdos, uno con agua y el otro con la solución de prueba, y se anotó la cantidad de líquido consumido en cada recipiente durante 24 horas. La preferencia por esa solución de prueba se expresó como el porcentaje del total de volumen bebido. Kare et al (1965) probaron concentraciones de glucosa, lactosa o sacarosa que iban desde el 0% (agua) hasta el 4%, y hallaron que la sacarosa fue un estímulo más efectivo que la glucosa, y ésta, a su vez, lo fue más que la lactosa. Por otro lado la preferencia hacia las soluciones azucaradas aumentó con la concentración de azúcar.

Una comparación entre la sacarosa y la glucosa hecha por Kennedy y Baldwin (1972) también dio como resultado una preferencia de los animales por el primero de los dos carbohidratos. Estos pocos resultados de pruebas del sentido del gusto en cerdos refuerzan la idea de que en los cerdos el sabor dulce estimula el consumo de alimentos, tal como lo ensayaron Díaz et al (1956), añadiendo o no azúcar refinada y mieles invertidas de caña en raciones de inicio para lechones destetados.

La palatabilidad de la ración, medida por un mayor o menor consumo de alimentos, también fue ensayada previamente por el mismo grupo de investigadores (Nelson et al 1953; Lewis et al 1953). En la misma época, experimentos parecidos evidenciaron que el azúcar de caña incrementaba la palatabilidad de las raciones de inicio para lechones (Hanson et al 1954; McMillan y Wallace 1954; Jensen et al 1955).

El papel de la sacarina como edulcorante del alimento, probado en raciones para lechones por Aldinger et al (1959) no ha sido consistentemente comprobado en pruebas de preferencia. Kare et al (1965) hallaron que los cerdos demostraron variaciones individuales contradictorias ante la oferta de distintas concentraciones de sacarina (0.025 a 2.5 g/100 ml), mientras que a diluciones mayores de la solución edulcorante no hubo estímulo alguno. Sin embargo, Kennedy y Baldwin (1972) encontraron una marcada respuesta positiva por parte de los cerdos hacia soluciones de sacarina entre 0.01 y 0.1 mol/L. Al incrementar la concentración de sacarina hasta 1 mol/L, los cerdos rechazaron invariablemente la solución prueba.

Otro edulcorante no nutritivo, el ciclamato de sodio, fue probado por Kennedy y Baldwin (1972). Ante esta sustancia, los cerdos fueron indiferentes hasta concentraciones de 0.01 mol/L, pero se mostró un rechazo a soluciones diez veces más concentradas. Resultados similares se observaron con soluciones de cloruro de sodio.

Es interesante señalar que en los cerdos no se ha encontrado respuesta negativa, mediante la disminución del consumo de alimentos cuando en el mismo se añadía un compuesto muy amargo, el benzoato de bencilo dietil (2:6-xilil carbamoil metil) amonio (Blair y Fitzsmoms 1970).

Al parecer, los machos castrados y las hembras no presentan diferencias en cuanto a su patrón de consumo durante el período de ceba (Février, 1970). El alimento presentado frío o tibio (40°C) no parece tener tampoco un efecto marcado en el experimento de Février (1970). En cambio, Holmes

(1970) halló que, elevando la temperatura del suero de queso (10, 25-30 y 40°C), se incrementaba el consumo del alimento desde un 62.2% hasta un 82.2%.

Se hace difícil comparar los resultados de Février (1970) con los de Holmes (1970), debido a la desigualdad de condiciones experimentales. No obstante, es posible que la misma naturaleza del alimento ofertado haya contribuido a obtener datos discordantes. Otro factor tal como la temperatura ambiental puede haber sido un elemento de peso, puesto que un ambiente frío o cálido puede afectar los rasgos de comportamiento debido a un incremento o una disminución en el consumo voluntario de alimento por parte de los cerdos (Close 1989).

Un ejemplo de la influencia de la temperatura ambiental sobre el patrón de consumo fue reportado por Heitman y Hughes (1949). En este experimento se halló que a medida que aumentaba la temperatura ambiental disminuía el consumo de alimentos. Por otra parte de acuerdo con estos mismos autores, la humedad relativa no tuvo efecto alguno hasta que llegó a un 90%. El efecto de la temperatura ambiental también se hizo evidente en la modificación del patrón de consumo de agua, puesto que fue bebida por los cerdos en cantidades crecientes cuando la temperatura aumentó (Mount et al 1971).

Otro estudio relacionado con el efecto de la temperatura y el patrón de consumo fue realizado por Morris et al (1970). Estos autores demostraron que en un ambiente caluroso, los cerdos que no eran asperjados con agua dedicaban más tiempo a permanecer en los comederos durante la mañana y raramente permanecían allí entre las 13:00 y las 20:00 horas, mientras que cerdos que sí eran asperjados promediaron un 6.1% en ese período en los comederos. La aspersión, por otro lado, incrementó la ganancia diaria y la eficiencia en la conversión del alimento y ambos hechos fueron asociados. El espacio de alojamiento bajo (0.56 m<sup>2</sup> por cerdo) estudiado por Bryant y Ewbank (1974) motivó que la ganancia diaria y el consumo voluntario de alimento se deprimieran en comparación con espacios de alojamiento medio y alto (0.77 y 1.19 m<sup>2</sup> por cerdo).

Sin embargo, no se afectó la eficiencia en la utilización del alimento: El tiempo dedicado por los cerdos en la actividad prandial fue definido por Bryant y Ewbank (1974) como aquel en que los animales estaban parados o sentados junto al comedero, comiendo aparentemente, y este tiempo correspondió en la mitad de las réplicas al 26.4% en un espacio de alojamiento bajo, significativamente mayor que en los espacios medio y alto (21.9% y 21.0%).

Las observaciones así hechas correspondieron al período entre las 10:30 y las 18:30 horas. Sin embargo, en la otra mitad de las réplicas, no hubo efecto del espacio de alojamiento sobre el tiempo prandial (20.2%, 23.3% y 21.2%) para los espacios de alojamiento bajo, medio y alto respectivamente. Debido a que hubo cierta variación en la temperatura ambiental entre las primeras tres réplicas y las otras tres, Bryant y Ewbank (1974) atribuyeron a ello los diferentes resultados obtenidos. De ser los datos de las últimas réplicas una excepción, entonces se reforzaría la información suministrada por Heitman et al (1961), quienes hallaron que con un espacio de alojamiento alto, los cerdos incrementaban el tiempo dedicado a comer.

Otro informe sobre el tema (Kridder et al 1975) se hizo estudiando el efecto de espacio de alojamiento de 0.63 y 0.43 m/animal sobre diferentes rasgos, entre los cuales se hallaban el tiempo dedicado a la ingestión del alimento.

Sin embargo, en esta oportunidad no se halló efecto alguno de acuerdo con las cifras presentadas. Los promedios de los experimentos conducidos para los tratamientos de alta y de baja densidad poblacional fueron de 14.2% y 15.7%, respectivamente, del ciclo de 24 horas. Estas cifras son más bajas que las halladas por Bryant y Ewbank (1974) para un espacio de alojamiento de 0.56 m/animal (21.0%). Las variaciones se pueden haber debido a la diferencia en el período de observación escogido. Por otra parte, Kridder et al (1975) parece coincidir con Heitman et al (1962).

A este respecto, en animales alimentados en grupo, Dantzer (1970) ha demostrado que el tiempo prandial está positivamente correlacionado con la ganancia en peso del animal. Este hallazgo obtenido en estudios de comportamiento social ha sido discutido por otros investigadores desde el ángulo de cómo y cuándo suministrar el alimento.

Todos los informes sobre patrón de consumo en cerdos, coinciden en afirmar que a medida que el animal envejece, el tiempo necesario para consumir la misma cantidad de alimento disminuye. Esta aseveración ha sido hecha por Knap (1966), Kirmse y Lange (1968), Faliu y Griess (1969) y por Février (1970). Este último autor encontró que la velocidad de ingestión del alimento granulado era de 47.6; 60.7 y 71.4 g/min según los animales pesaban 53, 63 y 75 kg, respectivamente. Este mismo alimento, pero en forma de harina remojada con agua y a los mismos pesos, determinaban una velocidad de ingestión de 66.7; 100.0 y 108.7 g/min, respectivamente.

Según Faliu y Griess (1970), en animales con pesos de entre 30 y 40 kg, la velocidad de ingestión del alimento granulado es muy marcadamente constante (27 g/min). Por otra parte, aunque el alimento empleado por Faliu y Griess (1970) estaban constituido por cebada fundamentalmente, al igual que el de Février (1970), sus resultados, aunque equivalentes en cuanto al efecto de edad, no fueron iguales en cuanto a los valores obtenidos. Faliu y Griess (1969) hallaron que la velocidad de ingestión a 59; 72.5 y 85 kg de peso corporal promedio era de 39.1; 43.0 y 46.7 g/min, respectivamente.

Knap (1966) y Kirmse y Lange (1968) han observado por otra parte que existen diferencias considerables en la duración de la comida de un animal a otro. Así, en el caso de una alimentación líquida, esta duración puede variar de 4 a 15 min.

En el caso de un alimento granulado, las variaciones son menos importantes, puesto que el coeficiente de variación de la duración de la ingestión es de 15.2% para los granulados, de 23.7% para la harina humedecida y 25.9 y 31.2% respectivamente, para el mismo alimento en forma de harina remojada con agua fría o caliente (2.25 litros de agua por kg de alimento) de acuerdo con Février (1970).

Una de las revisiones más interesantes sobre los posibles mecanismos que intervienen en la conducta de los cerdos ante el alimento ha sido publicada por Houpt (1986). Según Houpt (1986) el consumo de alimento está acoplado aproximadamente a las necesidades de nutriente mediante el control del tamaño de la ración. El rápido control de comer durante una comida requiere que tales controles se inicien en el tracto gastrointestinal y que el alimento origine el estímulo iniciador.

En los cerdos jóvenes, las soluciones hipertónicas que se vierten en el duodeno un momento antes de la ingestión disminuye el tamaño de la ración en proporción a la hipertonicidad de la solución infundida. Después de ingerir la mezcla de nutrientes, la osmolaridad duodenal crece rápidamente en el cerdo, lo que sugiere que durante la ingestión habitual la hipertonicidad duodenal tenderá a limitar el tamaño de ración. La colecistoquinina liberada durante la digestión, también puede ser una señal para disminuir el consumo de alimento.

Un tercer efecto lo es la distensión gástrica: siempre según Houpt (1986) se ha observado una estrecha correlación entre la presión intragástrica medida durante la alimentación y el cese en el comer de los cerdos. Por otra parte en condiciones posabsortivas, la oxidación en el hígado y el cerebro de los nutrientes circulantes parece estar involucrada en la regulación del consumo de alimento (Scharrer, 1991). También se ha sugerido por Scharrer (1991) que un lazo de retroalimentación pudiera existir entre la grasa corporal y el consumo voluntario de alimento.

### **Interrelación entre el patrón de consumo y los rasgos de comportamiento**

Existe una evidente interdependencia entre los rasgos del patrón de consumo y los de comportamiento, y más aún, Foster et al (1982) han sugerido que el patrón de consumo del alimento puede influir en el status metabólico y nutricional del animal a través de la actividad enzimática y la endocrina.

Previamente a esta aseveración se habían obtenido respuestas en esta interdependencia. Por ejemplo, Février (1970) halló que con la utilización de un alimento granulado, el coeficiente de correlación entre la velocidad de crecimiento y la duración de la ingestión es de + 0.279, sin significación.

En contraste con una alimentación seca ad libitum, Kirmse y Lange (1968) obtuvieron un valor de + 0.701, altamente significativo. Por otro lado, con una alimentación líquida, Février (1970) halló una

correlación negativa, -0.508, altamente significativa mientras que en la alimentación ad libitum de Kirmse y Lange (1968) el coeficiente había sido + 0.264, no significativo. Février (1970) ha sugerido, por tanto, que en el caso de una alimentación ad libitum, el cerdo que consume el granulado durante el tiempo más prolongado es el que mejor crecimiento tiene, puesto que consume más alimento. En el caso de una alimentación restringida, todos los cerdos consumen de hecho la misma cantidad de granulado. Cuando se practica en los cerdos una alimentación líquida y ad libitum, todos los cerdos tienen la posibilidad de consumir la cantidad de alimento que deseen, pero en lapsos muy variables, mientras que con una oferta restringida, los animales que ingieren su ración más rápidamente tienen el mejor crecimiento y, señala Février (1970), hay que admitir que estos animales consumen una parte de la ración de sus congéneres, lo que puede acentuar la disimilitud de peso entre los animales en el grupo.

Por otro lado, estos cerdos que consumen rápidamente su ración pueden tener una pérdida de energía menor durante la aprehensión del alimento y como consecuencia una mejor eficiencia (Charlet-Lery, 1971). A tales conclusiones ha llegado Février (1970) en este tipo de estudios.

Un análisis de estas interdependencias también ha sido hecho por Desmoulin (1969). Este autor afirma que las comidas frecuentes y poco abundantes bajo un sistema de alimentación restringida entrañan un aumento de la velocidad de ingestión del alimento que, en el cerdo, suele ser rico en carbohidratos. El conjunto de variaciones en el comportamiento de cerdos con alimentación restringida e igual según el peso del animal, puede ser atribuido a diferencias en el patrón de consumo que adopta el cerdo de acuerdo con el modo de presentación de su ración diaria. Esto es atribuible también al consumo de agua.

Desmoulin (1969) ha indicado además que a nivel de alimentación igual, la eficacia en un plano de racionamiento destinado a producir económicamente canales magras depende de la presentación del alimento. En el plano práctico, los sistemas automáticos de suministro de comida al cerdo deben, por tanto, tener en cuenta el aspecto físico del alimento y el ritmo de distribución de las comidas.

En cerdos alimentados con dietas de maíz o mieles de caña, Ly y Castro (1984) observaron que ciertos rasgos del patrón de consumo estaban fuertemente correlacionados con rasgos de comportamiento tales como el consumo diario de materia seca y la ganancia diaria, y en menor medida con la conversión alimentaria (tabla 3.5).

**Tabla 3.5 Correlaciones simples entre rasgos del patrón de consumo y de comportamiento en el cerdo.**

	<b>Actividad prandial (min)</b>	<b>Velocidad de ingestión (g/min)</b>	<b>Consumo MS (kg MS/día)</b>
Consumo fresco (kg/día)	- 0.630	0.537	0.947 <sup>***</sup>
Consumo MS (kg/día)	- 0.837 <sup>***</sup>	0.798 <sup>**</sup>	---
Ganancia diaria (g)	- 0.724 <sup>**</sup>	0.878	0.887 <sup>***</sup>
Conversión (MS)	0.380	0.657	0.929 <sup>**</sup>

Actividad prandial definida como el tiempo consumido durante la primera hora después de ser suministrada la comida.

Velocidad de ingestión, definida como el alimento ingerido en base fresca en los minutos dedicados a comer durante la primera hora después de ser suministrada la comida.

FUENTE: Ly y Castro (1984).

En el estudio hecho por De Haer (1990) se cuantificó la interrelación entre el patrón de consumo de alimento y los rasgos de comportamiento de cerdos alojados en grupo o individualmente, teniendo en cuenta el sexo (machos enteros o hembras). Se halló que el modo de alojamiento influyó de hecho en todos los indicadores del patrón de consumo al igual que el sexo (tabla 3.6).

**Tabla 3.6 Patrón de consumo y rasgos de comportamiento en cerdos alojados en grupos o individualmente.**

<b>PATRON DE CONSUMO</b>	<b>ALOJAMIENTO EN GRUPO</b>	<b>ALOJAMIENTO INDIVIDUAL</b>	<b>EFEECTO DE ALOJAMIENTO</b>	<b>EFEECTO DEL SEXO</b>
Ingestión por visita al comedero (g)	158	37	***	*
Tamaño de ración (g)	225	110	***	**
Ingestión por día (g)	2043	2203	**	
Duración de la visita (min)	4.7	1.5	***	**
Duración de la ingestión por visita (min)	6.9	4.2	***	**
Duración de la ingestión por día (min)	63.6	83.8	***	
Velocidad de ingestión (g/min)	32.1	26.9	**	
Número de visitas	14.0	58.5	***	***
Número de raciones	9.2	20.0	***	***
Rasgos de comportamiento:				
Ganancia (g/día)	653	750	***	**
Conversión alimentaria	3.16	3.01	***	**

FUENTE: De Haer (1990).

En la tabla 3.7 se muestra el análisis de correlación parcial entre rasgos del patrón de consumo y de comportamiento, corregidos para ingestión diaria de alimento constante y en el que también se hizo la corrección para el sexo y el lote de alimento.

**Tabla 3.7 Correlaciones parciales significativas (P<0.10) entre rasgos de patrón de consumo y de comportamiento y canal después de ajustados para un consumo diario constante, el sexo y el lote de alimento.**

	<b>GANANCIA DIARIA</b>	<b>CONVERSION ALIMENTARIA</b>	<b>ESPESOR DE GRASA DORSAL</b>	<b>CORTES MAGROS (%)</b>
Ingestión por visita al comedero	0.37 0.34	- 0.27 - 0.27	0.14 0.13	- 0.12 - 0.12
Tamaño de la ración	0.17	- 0.12		
Duración de la visita	- 0.35	0.30	- 0.25	0.19
Duración de la ingestión por día	0.39 - 0.26	- 0.30 0.21	0.24 - 0.12	- 0.18 0.12
Velocidad de ingestión	- 0.32	0.25	- 0.17	0.13
Número de raciones				
Número de visitas				
Alojamiento Individual				
Ingestión por visita al comedero	0.21			- 0.31
Tamaño de la ración	0.26			- 0.36
Duración de la visita	0.22			
Duración de la ingestión por visita		- 0.15		- 0.20 0.47
Velocidad de ingestión				0.26
Número de raciones				
Número de visitas				

FUENTE: De Haer (1990).

De Haer (1990) halló dentro del alojamiento en grupo mayores ganancias diarias, conversión alimentaria, espesor de grasa dorsal y ligeramente menos porcentaje de cortes magros en los cerdos con mayores ingestiones por visita, tamaño de ración, ingestión diaria y menores duraciones de visita al comedero. En el alojamiento individual se encontraron menos correlaciones significativas. Los animales con menores duraciones de visita al comedero exhibieron una menor ganancia diaria pero a la par tuvieron un mayor porcentaje de cortes magros. También se encontró interdependencia entre el mayor porcentaje de cortes magros a más comidas o raciones por día.

Según los resultados de este experimento se pudiera concluir que cuando el consumo diario de alimento se hace constante, se correlacionan una velocidad de ingestión de alimento mayor, más alimento ingerido por comida (tamaño de ración) y por visita al comedero con mayores ganancias diarias, espesor de grasa dorsal y conversión alimentaria pero a su vez con un menor porcentaje de cortes magros. De acuerdo con De Haer (1990) el incremento en cortes magros se correlaciona con un número mayor de comidas diarias que duran menos y en las que se come menos. Los datos de una mejor conversión alimentaria de De Haer (1990) coincidieron con los de Cohn et al (1962) aunque estos hallaron un incremento en la grasa corporal en cerdos que hacían muchas comidas pequeñas.

Por otra parte, los resultados de De Haer (1990) concuerdan con los de Foster et al (1982), quienes informaron que los cerdos con pocas pero grandes comidas por día eran más eficientes energéticamente, porque los animales invirtieron menos energía en el consumo de alimento. Estos cerdos crecieron más rápido, lo que se reflejó en un incremento de la ganancia de peso y del espesor de grasa dorsal. Se pudiera esperar que los cerdos alojados en grupo que hacen menos visitas diarias al comedero y hacen menos comidas por día con mayores tamaño de ración y velocidad de ingestión que los cerdos alojados individualmente, tendrán un mayor espesor de grasa dorsal y una ganancia diaria más alta. Una explicación para menores espesores de grasa dorsal y ganancia diaria podría explicarse por una mayor actividad animal, expresada en competencia e interacción social (De Haer, 1990).

### Interrelación entre el patrón de consumo y la digestión

Debe esperarse que el patrón de consumo de alimento esté relacionado con su digestión, si se acepta por Houpt (1986) que la osmolaridad del contenido duodenal, la colecistoquinina y la distensión gástrica son tres factores que a corto plazo limitan el tamaño de la ración. Sin embargo, no existen estudios dedicados a establecer la interdependencia entre las características del patrón de consumo de alimento y los índices de digestibilidad correspondientes. Por el contrario hay evidencia experimental de la relación existente entre el consumo de alimento y su evacuación por el estómago.

En estudios hechos por Gregory y Rayner (1986) se ha sugerido que el control de la evacuación gástrica de digesta puede estar relacionado con el control a corto plazo del consumo de alimento. A este respecto ya Gregory y Rayner (1985) habían establecido que cuando el cerdo come con el estómago vacío, la velocidad de evaluación gástrica de la digesta varía de acuerdo con la cantidad ingerida y durante la actividad prandial el estómago emite su contenido en proporción al monto ingerido (tabla 3.8). Cuando existe digesta en el estómago correspondiente a comidas anteriores, el vaciado se inhibe considerablemente.

**Tabla 3.8 Interdependencia entre el tamaño de ración y la evacuación gástrica de sólidos en cerdos.**

Tiempo de ingestión (min)	Tamaño de la ración (g MS)	Digesta evacuada (Cantidad en g)	Proporción del tamaño de la ración (%)
10-15	628	160	25.0
20-25	1212	322	26.8
30-35	1648	427	25.8
35-45	1686	469	27.8

FUENTE: Gregory y Rayner (1985).

Otros estudios realizados por el equipo de Gregory han conducido a proponer la hipótesis de que el vaciado de digesta gástrica está involucrado en la regulación a corto plazo del consumo voluntario de alimento en el cerdo. A este respecto se ha postulado que las infusiones de glucosa o de lípidos hacen más lenta la evacuación del estómago, lo que a su vez determinan la distensión del órgano y la inhibición de la ingestión de más alimento (Gregory et al 1989).

### Métodos de medición del patrón de consumo

La conducta de los cerdos ante la oferta de alimento ha sido medida por diferentes técnicas, que han ido desde la simple observación humana y la manipulación del alimento por el hombre (Faliu y Griess, 1969, 1970; Kridder et al 1975), hasta el empleo de técnicas manométricas aplicadas al esófago, circuitos cerrados de televisión y pesada automática del alimento (Hacker et al, 1973; Auffray et al 1974; Auffray, 1975) pasando por la aplicación de técnicas cinematográficas (Facto et al, 1959; Fowler et al, 1971).

Otros métodos, tales como circuitos provistos de señales acústicas (Fowler et al, 1971) o de celdas fotoeléctricas (Maxwell et al, 1970) también han sido empleados en el estudio del patrón de consumo en los cerdos.

Un estudio dedicado a la técnica para medir cuantitativamente los rasgos etológicos en el cerdo ha sido publicado por Schwartz et al (1975 a, b).

El perfeccionamiento de las técnicas de medición sin duda, contribuirá a una mayor precisión en la descripción del patrón de consumo en el cerdo, eliminando el factor subjetivo en la interpretación de los resultados experimentales.

## REFERENCIAS

- Aldinger, S.M.; Speer, V.C.; Hays, V.W. y Catron, D.V. 1959. *J. Anim. Sci.* 18:1350.
- Auffray, P. 1975. XXVI Ann. Meet. European Assoc. Anim. Prod. Warsaw.
- Auffray, P.; Bahy, C. y Marcilloux, J.C. 1974. *Journ. Rech. Porcine en France, Paris.* p 277-281.
- Baldwin, B.A. 1976. *Proc. Nutr. Soc.* 33:69.
- Blair, R. y Fitzsimons, J. 1970. *Anim. Prod.* 12:529.
- Bryant, M.J. y Ewbank, R. 1974. *Brit. Vet. J.* 130:139.
- Cohn, C.; Joseph, D. y Allweiss, M.D. 1962. *Amer. J. Clin. Nutr.* 11:356-361.
- Cole, D.J.A. y Chadd, S.A. 1989. *Brit. Soc. Anim. Prod. Occ. Publ. No. 13* p 61-70.
- Close, W.H. 1980. *Brit. Soc. Anim. Prod. Occ. Publ. No. 13* p 87-96.
- Charlet-Lery, G. 1971. *Journ Rech. Porcine en France. Paris.* p. 53-55.
- Dantzer, R. 1970. *Ann. Rech. Veter.* 1:107.
- Dantzer, R. y Mailhe, G. 1972. *Rech. Porcine en France. Paris.* p. 261-263.
- Dantzer, R. 1976. *Folia Vet. Lat.* 6:76.
- De Haer, L.C.M. 1990. 41 Ann. Meet. E.A.A.P. Toulouse pp. 6.
- Desmoulin, B. 1969. *Journ. Rech. Porcine en France. Paris.* p. 73-76.
- Díaz, F.; Speer, V.C.; Ashton, G. C.; Liu, C. H. y Catron, D.V. 1956. *J. Anim. Sci.* 15:315.
- Dinusson, W.E. 1965. *Feedstuffs* 17:5.
- Facto, L.A.; Dçaz, F.; Hays, V.W. y Catron, D.V. 1959. *J. Anim. Sci.* 18: 1498.
- Faliu, L. y Griess, D. 1969. *Journ Rech. Porcine en France. Paris.* p. 61-66.
- Faliu, L. y Griess, D. 1970. *Journ Rech. Porcine en France. Paris.* p. 153-159.
- Février, C. 1970. *Journ Rech. Porcine en France. Paris.* p. 161-166.
- Foster, W.H.; Kilpatrick, D.J. y Heaney, I.H. 1962. *Anim. Prod.* 37: 387-393.
- Fowler, V.R.; McDonald, K. y Robr, L. 1971. *Anim. Prod.* 13:378.
- Fowler, V.R.; Mennie, I. y Adams, G. 1975. XXVI Ann. Meet. European Assoc. Anim. Prod.
- Gregory P.C. y Rayner D.V. 1985. *Dig. Dis. Sci.* 30(8): 771.
- Gregory P.C. y Rayner D.V. 1986. *J. Physiol.* 378: 25 p.
- Gregory P.C., McFadyen M. y Rayner D.V. 1989. *Quat. J. Exp. Physiol.* 74: 109-119.
- Rinjuk, N.P. y Piashenco, S.I. 1969. *Svinovodstvo* (12): 14-15.
- Hacker, R.R.; Vears, W.H. y Forshaw, R.P. 1973. *J. Anim. Sci.* 37: 245 (abstract).
- Halász, P. y Zçmbo, I. 1969. *Allattenyásztés* 18:257.
- Hanson, L.E.; Rutledge, E.A.; Russo, J.M. y Ferrin, E.F. 1954. *Minn. Agr. Exp. Sta. Mimeo H-124.*
- Haugse, C.N.; Dinusson, W.E.; Erickson, D.O. ; Johnson, J.N. y Buchanan, M.I. 1965. *N. Dakota Farm. Res.* 23:18.
- Heitman, H.; Hahn, L.; Bond, T.E. y Kelly, C.F. 1962. *Anim. Behav.* 10:165.
- Heitman, H.; Hahn, L.; Kelly, C.F. y Bond, T.E. 1961. *J. Anim. Sci.* 20:543.
- Heitman, H. y Hughes, E.H. 1949. *J. Anim. Sci.* 8:171.
- Haupt, T.R. 1986. *Plenum Press. New York* 2:943-956.
- Holmes, C.W. 1970. *Anim. Prod.* 12:485.
- Hsia, L.C. y Lu G.H. 1985. *J. Chinese Soc. Anim. Sci.* 14:43-46.
- Jensen, A.H.; Launer, J.E.; Terrill, S.W. y Becker, D.E. 1955. *Univ. Ill. Mimeo AS 418.*
- Kare, M.R.; Pond, W.G. y Campbell, J. 1965. *Anim. Behav.* 13:265.
- Kennedy, J.M. y Baldwin, B.A. 1972. *Anim. Behav.* 20:706.
- Kirmse, K. y Lange, H. 1968. *Tierzucht.* 22:118.
- Knap, J. 1965. *Int. Z. Landw. Sofia Berlin* 5:493.
- Knap, J. 1966. *Archiv. Tierzucht.* 9:351.
- Kridder, J.L., Albright, J.L. ; Plumer, M.P. ; Conrad, J.H.: Sinclair, C.L; Underwood, S; Jones, R.G. y Harrington, R.B. 1975. *J. Anim. Sci.* 40: 1027.
- Lawrence, G.L.J. 1990. *Palmerston North* p. 14-43.
- Lewis, C.J.; Catron, D.V.; Ashton, G.E. y Culbertson, C.C. 1953. *J. Anim. Sci.* 12:923.
- Lips, C. 1965. *Agric. Diss. Univ. de Jena.*
- Ly J. y Castro M. 1984. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 18:39-46.
- Maxwell, C.V.; Reimann, E.M ; Hoekstra, W.G ; Kowalczyk, T; Benevenga, N.J. y Grummer, R.H. 1970. *J. Anim. Sci.* 30:911.
- McMillian, F.A. y Wallace, H.D. 1954. *J. Anim. Sci.* 13:39.
- Morrison, S.R.; Heitman, H; Givens, R.L. y Bond, T.E. 1970. *Proc. Ann. Meet. Amer. Soc. Agric. Eng. Paper No.* 70-913.
- Morrison, S.R.; Hintz, H.F; y Givens, R.L. 1968. *Anim. Prod.* 10:341.
- Mount, L.E.; Holmes, C.W; Close, W.H; Morrison, S.R. y Start, I.B. 1971. *Anim. Prod.* 13:561.
- Nelson, L.F.; Hazel, L.N ; Moore, A.A; Maddock, H.M; Ashton, G.C.; Culbertson, C.C. y Catron, D.V. 1953. *Towa Farm. Sci.* 7:3.
- Scharrer E. 1991. *Pig News Inf.* 12:377-379.
- Signoret, J.P. 1969. *Verhalten LandwirtSchafflicher Nutztiere. Berlin. Deut. Landv. Verlag.*

## **CAPITULO IV**

### **Tránsito de la digesta por el tracto gastrointestinal. Efecto de la edad y otros factores no dietéticos. Efecto de la naturaleza de la dieta. Métodos de medición del tránsito de digesta**

#### **Introducción**

Según Balch (1961) la rapidez con que la digesta atraviesa los distintos compartimientos del TGI es uno de los cuatro factores más importantes de los que determina la cuantía del "aprovechamiento nutritivo" que un determinado animal obtendrá una dieta dada. Los otros tres son: la cantidad de alimento consumido, la velocidad con que estos son digeridos en una región dada del tracto, y la naturaleza de los productos finales de la digestión. Todos estos factores están íntimamente relacionados, por lo que el estudio de cada uno de ellos se complica por los efectos de los otros.

Así mismo, es lógico suponer que la máxima limitación para que se utilice completamente un alimento estriba en la velocidad a la que puede ser digerido. Esta velocidad está a su vez afectada por la solubilidad de sus constituyentes, su susceptibilidad de ser degradado enzimáticamente y las modificaciones físicas producidas en el alimento por técnicas de procesamiento tales como el molido o la cocción.

Los resultados del efecto recíproco de estos factores se reflejan en el coeficiente de utilización digestiva, o más simplemente, "digestibilidad".

En el caso específico del cerdo, el tracto gastrointestinal es relativamente simple, y no existen peculiaridades anatómicas de relieve que compliquen los estudios de tránsito digestivo, como en otras especies de interés económico.

#### **Tránsito de la digesta por el tracto gastrointestinal**

El tránsito digestivo suele describirse por distintos términos. Los más usualmente empleados son la velocidad de tránsito, la velocidad del flujo y el tiempo de retención. Como velocidad de tránsito se define, generalmente, el tiempo que transcurre entre el momento de la ingestión y su aparición, o la de sus residuos, en un punto del tracto gastrointestinal, uno de los cuales puede ser el recto.

Por otro lado, la velocidad de flujo de la digesta es la velocidad a la que la mezcla de los residuos digeridos o no procedentes de la ingestión del alimento, pasan por un punto o un segmento del tracto en un período dado de tiempo. El tiempo de retención, que es el recíproco de la velocidad de flujo, indicaría, por tanto, cuánto tiempo permanece la digesta en un segmento o en todo el tracto gastrointestinal.

Este último término es el más empleado para describir el tránsito digestivo, en el caso del cerdo, a partir de su definición hecha por Castle y Castle (1956). Con el fin de medir la velocidad de tránsito o el tiempo de retención, es necesario identificar los residuos de una comida o ingesta individual. Se han empleado una amplia variedad de sustancias de referencia (marcadores o indicadores), que incluyen los que componen naturalmente el alimento tales como la lignina, cromógenos (pigmentos de plantas), hierro y sílice.

El uso de tales compuestos, los cuales se presume no son absorbidos, y que requieren de las cualidades de las mismas sustancias que se utilizan en las mediciones de la digestibilidad, permite el cálculo del cambio en concentración de los nutrientes, incluyendo agua, a medida que la ingesta progresa a lo largo del tracto. Estos análisis se hacen en muestras de fluido en diferentes puntos del TGI, para lo cual es necesario fistular los animales, o de excretas, y que se contrastan entre sí, con muestras de alimento, entre otros, de acuerdo con el estudio que se haga.

Los marcadores externos tales como el óxido crómico, distintos tipos de colorantes, partículas de polietileno o plástico, polietilenglicol, cromo, cerio, rutenio radioisotópicamente marcados, se han usado en distintas oportunidades. Estas sustancias de referencia varían pues mucho en su carácter,

pueden ser sólidas o solubles en el contenido digestivo. Como ha señalado Hyden (1961), los distintos tipos de marcadores pasan o transitan a través del TGI a diferentes velocidades y su utilidad se restringe al estudio de las partículas con características físicas similares.

En ciertas ocasiones, a través de cánulas insertadas en el tracto, no es imprescindible utilizar marcadores, siempre y cuando se pueda medir toda la cantidad de digesta que transite por el punto en estudio. Debido a que de hecho, ningún marcador es lo suficientemente versátil como para poder indicar el movimiento variado de los distintos constituyentes del alimento o la digesta, cuando alguno de ellos se utiliza, deberá sobrentenderse que la velocidad de tránsito o de flujo informada es aparente.

De acuerdo con los primeros resultados publicados por Castle y Castle (1956). La evolución de la excreción fecal de un marcador dado en una sola dosis al animal, adopta una curva de forma sigmoide, cuando la recuperación del marcador en las excretas se expresa como por ciento del total consumido. Los investigadores ingleses propusieron el término R para expresar el tiempo transcurrido entre la recuperación del 5% y el 95% del marcador, puesto que estos alimentos podían ser medidos con mayor precisión que las primera y última apariciones del marcador, en aquella oportunidad fucsina básica y verde brillante, utilizados uno en comidas por la mañana, y el otro, en comidas por la tarde. El valor de R se suele calcular tal como propusieron originalmente Castle y Castle (1956), es decir, a partir del dibujo de la curva sigmoide, determinando a intervalos de 10%, los tiempos de recuperación del marcador, entre las cotas de 5% y 95%.

El valor de R es la cifra, tal como ha señalado Laplace (1972), mejor adaptada para el análisis estadístico, debido a que permite establecer comparaciones entre distintas curvas sigmoideas. Sin embargo, el punto crítico de esta cifra radica en el hecho de que no describe la forma del sigmoide. Ello es importante desde el punto de vista de que tal sigmoide representa el compendio de todos los eventos que en el tracto gastrointestinal tienen lugar, entendiéndose por tales el producto de la interrelación entre factores externos que los determinan (periodicidad de ingestión, volumen de alimento, forma física, ingredientes de la ración, entre otros), y las características anatómicas del tracto.

Parece ser un hecho comprobado que en el cerdo las distintas fracciones que constituyen la digesta no viajan con la misma velocidad por el TGI del cerdo. Ya Moore (1957) planteó la hipótesis de que, una comida dada, la parte de la misma que preferencialmente emite el estómago hacia el duodeno, es la más digerible, extraída fácilmente del total ingerido mediante el jugo gástrico, esta fracción podría ser una solución verdadera o coloidal, o una suspensión de partículas diminutas, semidigeridas por la acción de la amilasa, la pepsina y el HCl.

A medida que transcurre la digestión, ese proceso de "lavado" continúa hasta que en la etapa final de evacuación gástrica, ocurriría la descarga en el duodeno de las fracciones más indigeribles, debido a su contenido de lignina, sílice o celulosa. A ello atribuyó Moore (1957) las variaciones diurnas en la concentración fecal de proteína, minerales y fibra, ya que esas concentraciones dependerían en gran medida de tránsitos diferentes para las distintas fracciones de la ingesta que abandonan el estómago. De esta forma, las excretas ricas en proteína y ceniza soluble provendrían de la digesta gástrica emitida durante los primeros momentos de la digestión y las excretas ricas en fibra provendrían del final de la retención estomacal.

Investigaciones posteriores han demostrado que en el tracto gastrointestinal hay variaciones cíclicas en la composición de la digesta, particularmente influidas por la toma de alimento (Graham y Aman 1986). Es posible que esta sea una interpretación más adecuada a los hechos del experimento de Moore (1957).

En un artículo publicado por Cuperlovi, Hristic y Cmiljanic (1972), se utilizó Cr radioactivo-EDTA como marcador de la fase soluble de la ingesta, y se procedió al sacrificio seriado de cerdos entre 1 y 4 horas posteriores a la ingestión del alimento. De acuerdo con lo observado en el contenido gástrico, a las 4 horas postingestión, la retención del marcador fue del 0.1% mientras que la de la MS alcanzó la cifra del 40%. En ese mismo momento, los primeros 6 m del intestino delgado estaban libres de radioactividad, distribuyéndose el marcador entre el yeyuno distal y el íleon así como en el ciego (16% de la dosis) y en los primeros 20 cm del colon. En este trabajo se evidenció por tanto una

diferencia marcada en el patrón de evacuación de la fase líquida (marcador) y de la fase sólida (materia seca). En otro experimento informado por Borgida (1973) se constató también mediante el sacrificio seriado de cerdos, que durante las primeras etapas de la digestión, ocurría un desplazamiento más rápido del polietileno glicol (PEG) que del óxido crómico, por todo el TGI. Tales resultados fueron obtenidos por Borgida (1973) trabajando con cerdos en la fase de acabado. Además, en las mediciones del tránsito de digesta por todo el tracto, siguiendo las recomendaciones de Castle y Castle (1956), no se halló una modificación sustancial en los índices medidos. De esta forma, en el experimento se halló el efecto amortiguador del intestino grueso sobre el tránsito de digesta, en esta ocasión los cerdos utilizados estaban en el rango de 25 a 65 kg.

Argenzio y Southworth (1974) condujeron un experimento en el que, utilizando cerdos con un peso inicial 12,5 kg se les suministraron en el alimento, PEG y tres partículas de polietileno radio opaco con longitudes de 2 mm, 1 y 2 cm (gravedad específica, 1,3). Los autores señalaron no hallar diferencia entre el tránsito del PEG y las partículas de polietileno con las dos menores longitudes, pero entre estos tres tipos de marcadores y las partículas con 2 cm de longitud, el contraste del tránsito sí fue muy evidente. De este último marcador se recuperó el 50% del marcador en las excretas un poco más de 8 días después de ser administrado el alimento. En la forma gráfica en que se expusieron los resultados, pareció que no más de un día fue necesario para recuperar el 50% de los otros tres tipos de marcadores, siendo menor el tiempo para el PEG.

Un estudio más acucioso realizado por el mismo equipo (Clemens et al 1975) pero con cerdos de 176 kg, se informó posteriormente. Aquí la dieta de heno y grano (N x 6.25; 12.0%, fibra 12.5%) fue mezclada con dos marcadores, PEG y Cr (radioactivo) -EDTA (ácido etilén-diamino tetracético) para la fase líquida y partículas de polietileno con las mismas características de la prueba anteriormente citada (Argenzio y Southworth 1974). Se efectuó un sacrificio seriado mediante el cual se pudo recuperar de las distintas secciones en que se dividió el TGI, la digesta contentiva de los marcadores. Los resultados tabulados (tabla 4.1) indican fehacientemente que existió una diferencia notable entre el desplazamiento a lo largo del tracto de la fase líquida de la digestiva y el de la fase sólida.

**Tabla 4.1 Tránsito de las fases líquidas y sólida de la digesta en el cerdo.**

	Fase líquida	Fase sólida		
		2 mm	1 cm	2cm
Estómago				
Retención (%) <sup>1</sup>	<5	28	48	93
Tiempo (h)	12	12	12	12
Concentración pico (%) <sup>2</sup>		33		
Tiempo (h)		16		
Colon ascendente				
Concentración pico (%)	60	42	37	
Tiempo (h)	12	24	24	
Colon descendente				
Concentración pico (%)	52	40	30	
Tiempo (h)	38	50	50	
Excretas				
Recuperación (%) <sup>1</sup>	100	95	91	10
Tiempo (h)	50	60	60	60

<sup>1</sup> Expresado como por ciento del consumo.

<sup>2</sup> Expresado como por ciento de todo el marcador hallado en el tracto. Se asume que el tránsito de cada fase es igual a la del marcador correspondiente.

FUENTE: Clemens et al (1975).

Clemens et al (1975) encontraron que las regiones del tracto que retuvieron efectivamente la digesta fueron el estómago y el colon en espiral (colon ascendente y descendente). El área cólica más determinante en la digesta acumulada fue aquella en que la espiral del colon pasa de centrípeta a centrífuga, lo que pudiera indicar que existe allí cierto mecanismo fisiológico o anatómico, regulador del tránsito de digesta.

Por otro lado, la fase sólida de la digesta transitó por el tracto más lentamente que la líquida, lo que se hizo particularmente notable, de acuerdo con los datos de Clemens et al (1975) en relación con la evacuación gástrica de marcadores, así como el momento y el grado de acumulación de los mismos en el colon ascendente y el descendente. Es de inferir que es el colon en espiral la región determinante del TGI en el tiempo de retención de digesta por todo el tracto.

La separación de las fases líquida y sólida de la digesta ha sido comprobada posteriormente. Como ilustración pudiera mencionarse el experimento de Latymer et al (1985) quienes usaron cerdos canulados en el íleon terminal, el ciego y el colon ascendente. Estos investigadores observaron un movimiento más rápido de la fase líquida con respecto a la sólida, sobre todo en el íleon.

Sin embargo, la separación de fases tendió a decrecer a medida que el volumen del contenido intestinal se redujo durante su tránsito por el colon, a tal punto que ambas fases llegaron más o menos juntas a las excretas. El fenómeno de diferentes velocidades de tránsito para distintos componentes de la digesta también fue comprobado más tarde por Leterme et al (1991).

Este grupo de investigadores utilizaron cerdos ileorectomizados o provistos de una cánula en T ileal, que se alimentaron con una dieta de cebas y guisantes. El alimento se marcó con PEG y  $Cr_2O_3$  como marcadores de las fases líquida y sólida de la digesta, y además de  $Yb_2O_3$  actuando como mordiente de la pared celular.

Para comparar biométricamente la velocidad de tránsito de cada fase en cada tipo de animal, Leterme et al (1991) usaron una ecuación del tipo  $\ln y = a+bx$ , donde la pendiente de la línea de regresión es un estimado de la velocidad de tránsito y donde Y fue la concentración del marcador expresada como por ciento del máximo de excreción. Un decremento mayor en la concentración del marcador se correspondería por tanto con una velocidad de tránsito mayor.

Leterme et al (1991) encontraron una neta separación de la fase líquida con respecto a la sólida en ambos tipos de cerdos, y lo que es sorprendente, un tránsito más rápido de la pared celular marcada en comparación con el resto de la fase sólida, aunque considerablemente menor que el de la fase líquida (tabla 4.2). Leterme et al consideraron que el comportamiento de tránsito de  $Yb_2O_3$  pudiera deberse a que no marcaba los componentes de la dieta sino solamente el de un ingrediente agregado.

**Tabla 4.2 Pendiente y coeficiente de correlación de las líneas de regresión del ln de la concentración del marcador con respecto al tiempo.**

	<b>Cerdos ileorectomizados</b>	<b>Cerdos canulados</b>
PEG	- 0.36	- 0.38
$Cr_2O_3$	- 0.09	- 0.07
$Yb_2O_3$	- 0.15	- 0.13
r		
PEG	- 0.92	- 0.94
$Cr_2O_3$	- 0.93	- 0.96
$Yb_2O_3$	- 0.92	- 0.93

FUENTE: Leterme et al (1991).

Una característica del tránsito de digesta por el tracto gastrointestinal del cerdo es la disminución en la velocidad con que se desplaza la digesta desde la boca hasta el recto, lo cual contrasta notablemente con la digestión del alimento, que ocurre esencialmente entre el duodeno y el íleon. Un experimento que ilustra claramente todo lo anterior fue llevado a cabo por Keys y DeBarthe (1974).

Estos investigadores compararon la digestión de 4 cereales distintos y utilizaron la relación  $\ln y = a+bx$  en la que Y era la concentración del marcador y b describía la velocidad de tránsito de digesta. En la tabla 4.3 se muestra claramente que el valor promedio del coeficiente de regresión sólo aumentó ligeramente del duodeno al íleon (-0.390 a - 0.370) y muy marcadamente en el recto (-0.080) indicando así que la digesta permanece la mayor parte del tiempo en el intestino grueso, sección del tracto en el que sólo se digirió del 8 al 15% del alimento.

**Tabla 4.3 Valores de a y b en regresiones lineales  $\ln y = a+bx$  y digestibilidad de MS en cerdos.**

	a	b	Digestibilidad de MS (%)
<b>DUODENO</b>			
Trigo	10.305	- 0.481	3.86
Millo	7.986	- 0.302	4.10
Maíz	9.341	- 0.430	4.09
Cebada	8.214	- 0.346	2.49
<b>ILEON</b>			
Trigo	11.917	- 0.380	68.52
Millo	10.531	- 0.313	63.04
Maíz	11.769	- 0.405	66.59
Cebada	11.691	- 0.383	63.61
<b>RECTO</b>			
Trigo	11.381	- 0.090	81.65
Millo	10.566	- 0.075	73.66
Maíz	11.492	- 0.092	80.68
Cebada	10.327	- 0.063	81.02

FUENTE: Keys y De Barthe (1974)

Estudios posteriores hechos por Porkins et al (1991) les permitieron postular que la velocidad de evacuación gástrica de digesta y el tránsito de ésta hasta el íleon parece tener un efecto mínimo sobre el tránsito por todo el tracto gastrointestinal, o lo que es lo mismo, las diferencias en la velocidad de tránsito de digesta por todo el tracto gastrointestinal están relacionadas con distintas velocidades de tránsito por el intestino grueso de los cerdos.

#### **Efecto de la edad y otros factores no dietéticos**

Si se acepta que la digestibilidad está interrelacionada de alguna forma con el tránsito digestivo, los mismos factores que influyen en una lo harán en el otro. Aquí discutiremos algunos de los más relevantes, agrupando los mismos de acuerdo con que sean de naturalezas dietéticas o muy relacionadas con la dieta, genéticas y de crecimiento, ambientales y otros como la acción de aditivos y fármacos.

A medida que el cerdo crece, a partir de su nacimiento, el sistema digestivo también lo hace, con una velocidad peculiar (ver Ly 1979). Junto con esta situación el animal sufre cambios en su alimentación

sobre todo en el momento que concluye la lactancia, ya sea por medios naturales, o dentro del proceso de producción intensiva de cerdos.

En este último caso, generalmente se conciben dietas para lechones destetados más o menos precozmente, para una segunda fase llamada de crecimiento y para una tercera de acabado. Dentro de esta interacción entre la dieta y el animal debe pensarse que la digestión del alimento se modifique, pudiendo ser una de las causas o de las consecuencias, el cambio en el tránsito de digesta. Hay pocos estudios realizados en el cerdo sobre este aspecto, tal vez porque desde el punto de vista práctico, se considere que no sea de utilidad.

Según Hill et al (1970) en el lechón lactante no existe un tránsito diferente de los distintos componentes de la leche materna, del estómago hacia el duodeno. Otro aspecto importante referido por Hill et al (1970) es que en el lechón, debido a que prácticamente lacta cada hora del ciclo de 24 horas, se establece un tránsito continuo de digesta por las primeras secciones del tracto. Lo mismo no suele ser así en el lechón destetado precozmente y alimentado con otro tipo de leche, como la de vaca.

En ese caso, se forma un coágulo duro de aquella y entonces la lactosa abandona rápidamente el estómago con relación a la grasa y la proteína. Otros investigadores (Braude et al 1970 a) observaron que la coagulación de la dieta parecía regular la velocidad de evacuación estomacal en lechones de 28 días de edad, sacrificados una o dos horas después de comer.

En un segundo experimento, Braude et al (1970 b) estudiaron nuevamente el proceso de digestión de la proteína de leche homogenizada de vaca, así como el tránsito digestivo.

Braude et al (1970 b) hallaron entonces que el coágulo de leche se formó en el estómago entre 15 y 30 minutos después de comer, ocurriendo una diferencia entre el tránsito de la fracción soluble (el suero de la leche) que fue rápido (45 minutos) y el de la fracción conteniendo la proteína coagulada, la que abandonó el área gástrica dos horas después de ingerir los animales la leche de vaca.

Aunque los datos resultantes del sacrificio seriado son sólo semicuantitativos debido a que el PEG fue el marcador de digesta, en el experimento de Braude et al (1970 b) se obtuvo un tiempo de retención gástrica no menor de 120 minutos, mientras que el del intestino delgado estuvo entre 120 y 180 minutos (tabla 4.4). Ello parece indicar que el tránsito del marcador por las áreas prececales fue muy rápido, con una eventual acumulación del PEG en el intestino grueso.

**Tabla 4.4 Distribución de polietilén glicol por el TGI de lechones alimentados con leche de vaca.**

	TIEMPO (Minutos)						
	15	30	45	60	90	120	180
Estómago	65.5 <sup>2</sup>	16.2	3.6	3.9	2.7	0.7	0.1
Intestino delgado <sup>1</sup>							
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.1	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0
3	0.0	1.2	1.0	1.3	1.2	0.0	0.0
4	0.0	0.8	1.8	1.2	1.8	0.8	0.7
5	0.0	0.0	0.7	0.7	1.5	3.9	1.9
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1

<sup>1</sup> Por ciento de la dosis administrada (1.5 g).

<sup>2</sup> Dividido en 6 secciones.

Lechones predominantemente Large White destetados entre 36 y 48 horas después del nacimiento.

Muestreo hecho entre los 28 y 35 días de nacidos.

FUENTE: Braude et al (1970 b).

En el estudio de Maner et al (1962) se puso en evidencia que pueden existir cambios en el tránsito de digesta de acuerdo con la fuente proteica, a edades diferentes. Maner et al (1962) demostraron que en lechones de 4 semanas de edad, el marcador aparecía en las heces, aproximadamente a la mitad del tiempo necesario para detectarlo, en los animales alimentados con caseína, cuando en vez de ésta, era la proteína aislada de la soya la que se utilizaba en la dieta (tabla 4.5). Estos investigadores asociaron este hecho con una mayor digestibilidad de la dieta de caseína (Maner et al 1961) y a la diferencia en el pH del contenido gástrico determinado por los dos tipos de dietas probadas.

**Tabla 4.5 Tránsito de digesta en lechones alimentados con dos tipos de fuentes proteicas.**

Edad (semanas)	FUENTE PROTEICA (%)	
	Caseína (14.0)	Proteína ex-soya (14.6)
4	19 <sup>1</sup>	42
10	45	45

<sup>1</sup> Tiempo de aparición del marcador (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) en las excretas en horas

FUENTE: Maner et al (1962).

A dos edades (pesos) bien diferentes, Goldstein (1950) halló un efecto marcado sobre el tránsito de digesta.

Es natural que se piense que tanto los índices digestivos como los de tránsito están asociados al buscarse un efecto de edad. Así, Castle y Castle (1956) observaron que en el cerdo en crecimiento el tránsito de digesta era más rápido que en el animal adulto (tabla 4.6).

**Tabla 4.6 Efecto de la edad sobre el tránsito de digesta en el cerdo.**

	Recuperación del marcador (horas)			R <sup>1</sup>
	5%	95%	95-5%	
Animal en crecimiento <sup>2</sup>	21	53	32	42.2
Animal adulto <sup>3</sup>	38	68	30	51.1

<sup>1</sup> Tiempo medio de retención

<sup>2</sup> Cerdos entre 25 y 60 kg aproximadamente.

<sup>3</sup> Cerda de 20 meses de edad, con un peso aproximado de 230 kg.

FUENTE: Castle y Castle (1956).

En diferentes ocasiones se han hecho ensayos para determinar si el momento del día en que el cerdo ingiere el alimento influye en el tránsito de digesta. Ya en 1932 Lenkeit, por medio de alimentos coloreados con los que estudió el tiempo requerido para que pasaran los residuos de alimento por el TGI, encontró que cuando la comida de prueba fue ingerida por la mañana, la excreción fecal de los colorantes comenzaba de 11 a 13 horas después, mientras que si el alimento se ofrecía por la tarde, la excreción de las partículas marcadoras comenzaba de 13 a 15 horas después. La mayor parte se excretaba en las primeras 12 horas subsiguientes, cuando el marcador incluía en la ración matutina y en el segundo período de 12 horas (24 a 36 horas postingestión), si el mismo marcador estaba contenido en la ración vespertina.

Estos resultados fueron confirmados después por Castle y Castle (1956), quienes observaron que, en una serie de experimentos, el tiempo necesario para la recuperación fecal de 5% y del 95% del marcador fue menor con la comida matutina que con la vespertina. Igual cosa sucedió con el valor de R, pero no con la diferencia entre el 95% y el 5% de recuperación del marcador (tabla 4.7).

Eventualmente, Castle y Castle (1956) se sumaron a la opinión de Lenkeit (1932) de que la diferencia obtenida se debió probablemente a un menor monto de excreción fecal durante la noche, lo que también tuvo lugar en el experimento hecho en Liverpool. Castle y Castle (1956) observaron que sólo el 35% de toda la excreción fecal de 24 horas ocurrió entre las 9.00 pm y las 9.00 am.

**Tabla 4.7 Efecto del momento del día en que se ingirió el alimento marcado sobre el tránsito de digesta en el cerdo.**

	Recuperación del marcador (horas)			R <sup>1</sup>
	5%	95%	95%-5%	
Ingestión matutina	20.3	52.2	32.0	33.1
Ingestión vespertina	21.5	53.5	31.5	35.2

<sup>1</sup> Tiempo medio de retención

FUENTE: Castle y Castle (1956).

Seerley et al (1962 a) encontraron, sin embargo, una tendencia inversa que contradice una menor actividad digestiva durante el período nocturno. Lo sorprendente de esta información es que la aceleración del tránsito de digesta acaeció tanto en un sistema de alimentación ad libitum como en uno regulado, y para el mismo alimento, tanto en forma de granulado como en forma de harina. Un experimento más reciente, el de Ishikawa y Sugimura (1973) apoya por otra parte los resultados iniciales de Lenkeit (1932). Es probable que la respuesta a la aparente contradicción en los resultados experimentales disponibles estén relacionados con la susceptibilidad de digestión de las distintas fracciones de la materia seca. Esta hipótesis se apoya en los hallazgos de Moore (1957) quien informó que cuando a los cerdos se les ofreció una comida conteniendo Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, los residuos de la fracción más digestible (y por tanto con una alta concentración del marcador) se excretaron en las heces 24 horas después. Cuando la dosis única del Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se incluyó a las 3:30 pm, las heces con el más alto contenido en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se excretaron entre 24 y 29 horas después.

Otras dos circunstancias que se variaron en los experimentos que se reseñan, fueron el nivel de consumo y el período entre comidas. La primera fue perfectamente establecida por Castle y Castle (1956) como determinante en el valor de los índices de tránsito. La segunda circunstancia, el período interprandial, aunque no estudiado detenidamente, permite suponer en el sentido de que también puede afectar el tránsito de digesta por un estímulo mecánico, entre otros.

Desde el punto de vista del efecto de la raza, Eeckhout (1972) halló que los tiempos de retención del marcador, menores en la raza Landrace belga que en la Pietrain (tabla 4.8) se debieron en su experimento a diferentes niveles de consumo originados por la capacidad de ingestión distinta entre ambas razas; parece ello estar relacionado con los hallazgos citados por Ollivier y Henry (1978) de un trabajo no publicado hecho en Francia (D.Bourdon, L. Desloges e Y. Henry) en que se encontró que los cerdos Landrace belgas tuvieron una utilización digestiva de la energía y el nitrógeno de 0,871 Mcal/Mcal consumida y 0,847 kg/kg consumido, mientras que en los cerdos Pietrain la digestibilidad fue para estos dos índices en el mismo orden, 0,881 y 0,866.

Ollivier y Henry (1978) han llamado la atención sobre la situación existente en este aspecto de los estudios de interacción entre la nutrición y la genética. Puesto que las determinaciones de digestibilidad se han hecho con un número reducido de dietas, por demás convencionales, pudiera ser cierto que las variaciones entre razas se acentuarán con alimentos de otro tipo como los voluminosos.

**Tabla 4.8 Efecto de la raza sobre el tránsito de digesta en el cerdo.**

RAZA	Forma de consumo alimento (kg)		Recuperación del marcador (horas)			
			5%	95%	95-5%	R
Landrace	Harina	3.597	19.5	73.8	54.3	40.7
	Granulado	3.354	27.3	74.8	47.5	44.4
Pietrian	Harina	2.469	27.5	72.0	43.5	50.3
	Granulado	2.412	23.0	72.0	48.0	48.1

Cerdos machos castrados Landrace (67.5 kg) o Pietrain (60.5 kg)

FUENTE: Eeckhout (1972).

Al parecer lo aseverado por Ollivier y Henry (1978) pudiera ser aplicado al caso de la digestión de la lactosa en el cerdo. En efecto, Ekstrom et al (1976) hallaron diferentes rasgos de comportamiento al ofrecer una dieta conteniendo un 40 % de suero seco de leche (aproximadamente un 30 % de lactosa) en cerdas Chester White o Hampshire de aproximadamente 5,5 meses de edad.

En este trabajo se halló una depresión en el consumo de alimento y en la eficiencia de la conversión del alimento en el Hampshire aunque en ambas razas estuvo presente la diarrea. Ekstrom et al (1976) sugirieron que la lactosa indigerida sería la causante de perturbaciones osmóticas y de diarrea en el intestino grueso, con una severidad tal que haría imposible un cambio adaptativo de la microflora allí presente. Ekstrom et al (1976) al sacrificar cerdos entre 1 y 3 horas postingestión, no hallaron un efecto de raza sobre la lactosa emitida por el estómago ni sobre la recuperación del disacárido en el intestino grueso, pero no hicieron mediciones de tránsito digestivo. Ekstrom et al (1976) encontraron que la raza Chester White determinaba más del doble de actividad lactásica total en el intestino delgado que la raza Hampshire.

Siguiendo esta línea, Kim et al (1978) hicieron determinaciones de tránsito de digesta y lactosa durante las primeras 5 horas postingestión, usando Cr (radioactivo) -EDTA, en cerdos de las mismas razas utilizadas por Ekstrom et al (1976) y alimentados con la misma dieta. Se halló que en ese período de tiempo, el 32 y el 30 % de la lactosa ingerida pasó al intestino grueso de los cerdos Hampshire o Chester White. Puesto que no se obtuvo diferencia entre razas para la evacuación gástrica del marcador, ni para la distribución del mismo en todo el TGI, pudiera pensarse que al menos en las 5 primeras horas postingestión el tránsito de la fase soluble de la digesta no es diferente entre ambas razas.

#### **Efecto de la naturaleza de la dieta**

Los aspectos relacionados con el tránsito de digesta en el cerdo que más intensivamente se han estudiado en esta especie, son el nivel de consumo de la dieta y la naturaleza de los carbohidratos del alimento, incluyendo aquí la fibra como constituyente de este grupo. Tal vez sean los carbohidratos el grupo de compuestos que más interés por constituir una fracción considerablemente grande en la fórmula de la comida.

Castle y Castle (1957) estudiaron el tránsito de digesta por el tracto gastrointestinal en cerdos que eran alimentados con diferentes niveles de consumo, y esto fue considerado tanto del alimento per se como mezclado con diferentes proporciones de agua.

El nivel de consumo, ajustado a la escala de alimentación seguida por Braude y Mitchell (1951) fue 0.5; 1; 1.5 y 2, y los resultados obtenidos aparecen en la tabla 4.9. En este experimento se notó como a medida que el nivel de consumo aumentó, disminuyeron consistentemente los tiempos de aparición del 5% y del 95% del marcador en las excretas, así como el valor de R. En forma similar tendió a aumentar la digestibilidad de la MS.

**Tabla 4.9 Efecto del nivel de consumo sobre el tránsito digestivo por todo el TGI del cerdo.**

Indíces	0.5	1.0	1.5	2.0
Tránsito (R) (h)	32.3	28.7	25.8	25.9
Porcentaje de recuperación				
5	18.8	13.8	10.5	10.5
95	54.3	49.3	46.3	46.0
Digestión de lo consumido (kg/kg)				
MS	0.744	0.759	0.781	0.793
N	0.813	0.812	0.807	0.820

FUENTE: Castle y Castle (1957).

Castle y Castle (1957) probaron en otro experimento el efecto que tenía sobre el tránsito de digesta, la cantidad de alimento variable, manteniendo constante la cantidad de agua. De esta forma los tratamientos consistieron en suministrar a los cerdos 0.6 o 1.5 veces de la cantidad normal de alimento ajustado al peso vivo (Braude y Mitchell 1951) quedando fijada la proporción alimento: agua en 1:3, 75 y 1:1.5. Se halló que hubo una marcada diferencia tanto en los índices de tránsito R y en la recuperación del 5% del marcador, así como en la digestibilidad de la MS, manteniéndose invariables los índices del tiempo de recuperación del 95% del mismo y la digestibilidad del N. El conjunto de resultados obtenidos por Castle y Castle (1957) les permitió obtener una relación significativa e inversa entre el nivel de consumo (alimento más agua, y en lb) y el valor de R (en horas):

$$y = 38.4 - 2.5 x$$

Castle y Castle (1957) propusieron la hipótesis de que al elevar el nivel de consumo, se eleva el tránsito de digesta al ser evacuado del estómago y los residuos de comidas previas en el intestino grueso se mueven más rápidamente. Esta propuesta es lógica, pero de acuerdo con ella, al transitar la digesta más rápidamente por el tracto, debiera disminuir su digestibilidad, cosa que en los estudios de Castle y Castle (1957) no fue siempre así. Más aún, en algunas oportunidades la disminución del valor de R fue concomitante con el aumento de la digestibilidad de la MS.

Es posible que un factor no tenido en cuenta en este experimento, la gran diferencia en peso de los animales y la utilización de un cuadrado latino para los dos primeros experimentos reseñados sean, entre otros, factores que hayan influido en los resultados.

Según los resultados de Parker y Clawson (1967) la velocidad de tránsito del óxido crómico por todo el TGI esta influida evidentemente por el nivel de consumo. Las pendientes de las regresiones del indicador fueron significativamente diferentes en el experimento 1, y entre el nivel más bajo y los otros en el experimento 2. La velocidad de tránsito fue más lenta en las cerdas que recibieron el nivel más bajo de alimento.

Por otra parte, al comparar el efecto de una dieta conteniendo maíz (experimento 1) contra otra conteniendo cebada (experimento 2) se obtuvo que este último cereal provocaba un tiempo de retención menor. Las posibles razones que alegaron los investigadores para explicar los diferentes resultados para ambos cereales fueron: (1) un mayor nivel de consumo para la dieta de cebada; (2) la naturaleza fibrosa y voluminosa de la cebada o (3) otras características de la cebada que la harían más laxante. El nivel de consumo en todos los experimentos que se han hecho en los que se midió su influencia sobre los índices de tránsito, ha demostrado determinar decisivamente un efecto neto sobre estos, y la hipótesis de Castle y Castle (1957) parece ser muy plausible. La evidencia experimental ha demostrado que la fibra incluida en la ración del cerdo, modifica el tránsito de digesta. En un estudio llevado a cabo por Goldstein (1950) se demostró que la inclusión creciente de

fibra en la dieta, acorto el tiempo de retención total de una forma aparentemente más acentuada en animales jóvenes (48 kg). Esto puede constatarse en la tabla 4.10. Por otro lado, si bien a ambos pesos la aparición inicial del marcador en las excretas no mostró variación temporal de interés si se hizo patente que el marcador era eliminado en la materia fecal más rápidamente cuanto mayor fuera el nivel de fibra dietética. Resultados de Mangold y Behm (1954) corroboraron las observaciones de Goldstein (1950). En efecto, en este experimento se empleó la fucsina como indicador, y se midió el tiempo necesario para que todo el marcador apareciera en las heces. Al sustituir por celulosa, el 5, 10 o 20% del almidón para en una dieta basal, el marcador desapareció de las excretas a las 144, 96 o 72 horas, respectivamente. En un segundo experimento en el que la dieta basal conteniendo papa cocinada se sustituía en un 5, 10 o 20% por harina de salvado, el marcador desaparecía de las heces a las 96, 72 o 48 horas para los dos niveles más altos de salvado.

**Tabla 4.10 Efecto del nivel de inclusión de fibra en la dieta sobre el tránsito de digesta en el cerdo.**

Peso corporal (kg)	Nivel de fibra (% de MS)	Recuperación del marcador (h)		
		0% <sup>1</sup>	100% <sup>2</sup>	Retención total <sup>3</sup>
48	8.79	11.0	53.0	42.0
	14.47	14.0	52.0	38.0
	21.10	14.0	48.0	34.0
	27.18	12.0	46.0	34.0
	33.45	14.0	40.0	26.0
109	8.26	12.5	63.5	51.0
	15.18	13.5	56.5	43.0
	22.11	12.5	54.5	42.0
	29.17	12.5	57.5	45.0
	35.30	12.5	49.5	37.0

<sup>1</sup> Tiempo de aparición del marcador; <sup>2</sup> Tiempo de desaparición del marcador; <sup>3</sup> 100%-0%

FUENTE: Goldstein (1950).

El efecto del nivel de fibra sobre la velocidad con que se desplaza la digesta en el TGI también fue informado por Horszczaruk (1962), quien utilizó 15 cerdos alimentados con dietas que contenían 4.0; 7.5 u 11.0% de fibra. Horszczaruk (1962) informó que en los cerdos que ingirieron el alimento con el nivel más alto de fibra, la aparición del marcador en las heces se demoró 6 horas más pero la desaparición fue 18 horas antes que en los otros tratamientos (tabla 4.11) Por otro lado, la excreción del frente del marcador incluido en la dieta e introducido en el ciego, tuvo lugar antes que cuando ese mismo marcador fue normalmente ingerido por los cerdos. De acuerdo con Horszczaruk (1962) eso indicó que una parte de la ración se retuvo en el área prececal un período de tiempo equivalente a 36 horas.

**Tabla 4.11 Efecto del nivel de inclusión de fibra en la dieta sobre el tránsito de digesta en el cerdo.**

Nivel de fibra (% MS)	Tipo de retención	Recuperación del marcador (h)		
		0% <sup>1</sup>	100% <sup>2</sup>	Retención total <sup>3</sup>
4.0	Boca-recto	12-18	78-84	66
7.5		12-18	84-90	72
11.0		12-18	78-84	66
		Animales canulados en ciego		
4.0	Boca-recto	12-18	84-90	72
7.5		12-18	84-90	72
11.0		18-24	66-72	48
4.0	Ciego-recto	12-18	48-54	6
7.5		12-18	48-54	6
11.0		12-18	48-54	6

<sup>1</sup> Tiempo de aparición en el marcador; <sup>2</sup> Tiempo de desaparición del marcador; <sup>3</sup> 100%-0%.

FUENTE: Horszczaruk (1962).

Henry y Etienne (1969) confirmaron de hecho los hallazgos de Goldstein (1950) ya que la recuperación del 50% del marcador se desplazó en el tiempo hacia valores cada vez menores a medida que aumentaba la inclusión de celulosa o vermiculita en la ración (tabla 4.12). Debido a la baja digestibilidad de la celulosa, el descenso en la utilización digestiva de la energía disminuyó sensiblemente; algo similar ocurrió con la fracción nitrogenada. Henry y Etienne (1969) sugirieron que la aceleración del tránsito digestivo tiene lugar debido a un aumento del volumen de la digesta y que el N endógeno se aumenta por la descamación y las secreciones digestivas, manteniéndose constante la digestión microbiana.

El efecto de diferentes tipos de fibra sobre el tránsito también ha sido objeto de investigación por Murray (1976) quien suministró a los cerdos una dieta basal de almidón, cebada y soya con un 6 o un 10% del almidón reemplazado por celulosa o por polisacáridos geles (metil celulosa, pectina o alginato de sodio). Aquí el tránsito de digesta se midió con partículas de poliestireno, hasta el íleon, y los resultados se expresaron como semitiempos de tránsito del marcador.

**Tabla 4.12 Efecto de distintos tipos y niveles de fibra en la dieta sobre el tránsito de digesta en el cerdo.**

Fibra	Nivel (%)	Porcentaje de digestibilidad			
		50% (h) <sup>1</sup>	N	Energía	
Celulosa fibrosa (3 mm)	6.4	87.0	92.1	92.6	36.0
	12.6	58.0	89.7	86.7	28.7
	18.9	41.0	86.1	78.8	25.5
	25.1	27.0	82.9	73.9	25.2
Celulosa fina (0.3 mm)	12.5	50.0	89.5	87.0	33.5
	Vermiculita	0.0	58.0	89.7	86.7
6.3		58.0	88.1	86.1	33.5
12.5		35.0	85.2	83.0	33.2
18.7		33.0	83.5	81.9	33.7

<sup>1</sup> Tiempo de recuperación del 50% del marcador; <sup>2</sup> Mcal/Mcal consumida; cerdos Large White con un peso inicial de 35.5 kg

FUENTE: Henry y Etienne (1969).

Los polisacáridos generadores de geles determinaron un descenso en la digestión del nitrógeno al compararse con la dieta sin fibra, siendo el descenso más dramático con la metil celulosa (desde 0.76 hasta 0.48). Algo parecido ocurrió con la utilización digestiva de la MS. Sin embargo, hasta el íleon, la celulosa no deprimió la digestibilidad del nitrógeno.

Un hecho interesante fue que la digestibilidad del nitrógeno boca-recto fue menor para las dietas sin polisacáridos formadores de geles que la misma digestibilidad boca-íleon, ocurriendo lo contrario en los otros tratamientos. Desde el punto de vista del tránsito digestivo, la celulosa no afectó el valor de recuperación del 50% del marcador en comparación con el de la dieta control de almidón, cebada y soya (381 min), pero con respecto a ésta, sí lo hizo la metil celulosa (261 min).

Murray (1976) indicó que el volumen de la digesta por sí mismo no fue la causa del descenso en la digestibilidad; más bien lo fue el gel formado por los polisacáridos, al evitar el contacto de las enzimas digestivas con las proteínas dietéticas, interfiriendo así con el proceso de la proteólisis.

Keys y DeBarthe (1974 b) realizaron una serie de pruebas de digestión y tránsito de digesta en cerdos provisto de cánulas en el duodeno y en el íleon terminal. En la tabla 4.13 se muestran los resultados del tránsito de digesta.

**Tabla 4.13 Efecto de la naturaleza de la fuente de almidón sobre el tránsito de digesta en el cerdo.**

Fuente 70%	Tipo de retención	Digestibilidad (%)			
		b	MS	Almidón	N
Trigo	Boca-recto	- 0.090	81.7	98.5	84.1
Sorgo		- 0.075	73.7	94.7	64.8
Maíz		- 0.092	80.7	98.7	81.7
Cebada		- 0.063	81.0	93.6	78.7
Trigo	Boca-íleon	- 0.380	68.5	95.0	74.5
Sorgo		- 0.313	63.0	86.9	61.5
Maíz		- 0.405	66.6	93.4	74.6
Cebada		- 0.383	63.6	79.1	66.7
Trigo		- 0.481	3.9	75.7	
Sorgo		- 0.302	4.1	63.3	
Maíz		- 0.430	4.1	71.8	
Cebada		- 0.346	2.5	45.1	

<sup>1</sup>  $b = (g \text{ colorante}/g \text{ MS}) h$ , en la ecuación  $\ln C = a + bt$ .

La concentración calculada del Sudan III en la ingesta fue de 0.022 g/g MS aproximadamente.

FUENTE: Keys y DeBarthe (1974b).

Keys y DeBarthe (1974b) establecieron una relación lineal entre el logaritmo neperiano de la concentración del colorante, a partir de su concentración máxima en la muestra, y el tiempo, con valores aceptables de  $r^2$  (0.836; 0.796 y 0.915 para el duodeno, el íleon y las heces, respectivamente) indicando que como promedio el 85% de la variación de la concentración del colorante era debida a la variable independiente, y que el proceso podía ajustarse a una cinética de primer orden. La ecuación obtenida fue por tanto del tipo:

$$\ln C = a + bt$$

en la que C era la concentración del colorante (g/g MS) y t, era el tiempo (horas). De esta forma la pendiente b era la constante cinética o de tránsito. Esta expresión matemática no permite calcular la recuperación del marcador pero Keys y DeBarthe (1974b) adujeron que el uso de los tiempos de

retención del 5 y el 95% del marcador tal como propusieron Castle y Castle (1956, 1957) implica una recuperación del 100% del marcador dentro de un rango específico de tiempo y de hecho este proceso es infinito y sigue una cinética de primer orden.

En este trabajo se puso en evidencia que el valor de la constante b sólo aumento ligeramente entre el duodeno y el íleon para todos los tratamientos (desde -0.390 hasta -0.370 g colorante/g MS/h, como promedio) mientras que entre el 85 y el 92% de toda la digestión ocurrió antes de que la digesta se moviera hacia el ciego. En cambio el valor de b ascendió a -0.080 como promedio en las muestras fecales, indicando un mayor tiempo de retención en el intestino grueso, lugar del TGI donde precisamente la utilización digestiva fue menor.

En un estudio del tránsito digestivo en cerdos, Entringer et al (1975) experimentaron con niveles variables de glucosa, lactosa o almidón de maíz, midiendo la velocidad de tránsito y la digestibilidad de las dietas de cerdos en crecimiento. En una primera prueba se utilizaron dos raciones iguales en las que los componentes iguales eran maíz y soya, y un 20% de la dieta era glucosa, lactosa o almidón de maíz. En la tabla 4.14 se ofrecen los resultados del primer experimento de Entringer et al (1975).

Entringer et al (1975) observaron aquí que la demora en la aparición del marcador en las excretas se hizo mayor con el aumento del grado de complejidad del carbohidrato complemento de la dieta, y paralelamente aumentó la digestión de la materia seca y del nitrógeno.

**Tabla 4.14 Efecto de bajos niveles de glucosa, lactosa y almidón de maíz sobre el tránsito de digesta en el cerdo.**

Tipo de carbohidrato (20%)	0% (h) <sup>1</sup>	Digestibilidad (%)	
		MS	N
Glucosa	20.1	82.6	76.4
Lactosa	22.6	84.9	79.8
Almidón	24.6	86.4	85.5

<sup>1</sup> Tiempo de aparición del marcador (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

FUENTE: Entringer et al (1975).

Un segundo experimento se llevo a cabo por Entringer et al (1975), pero ahora se utilizaron dos niveles de glucosa, lactosa y almidón, o sea un 20% y un 40% de la dieta. Los resultados se muestran en la tabla 4.15.

En esta prueba se confirmó lo encontrado anteriormente (ver tabla 4.14) aunque no existió equivalencia en las cifras de tránsito y digestibilidad en el consumo de un nivel del 20% del carbohidrato. Por otro lado, el nivel del 40% acentuó el efecto del tipo de carbohidrato, separando aún más las medias de los diferentes índices medidos.

Sin embargo, en esta prueba, estuvo presente la diarrea en los cerdos, después de ser incluidos en los tratamientos experimentales.

**Tabla 4.15 Efecto de bajos y altos niveles de glucosa, lactosa y almidón de maíz sobre el tránsito de digesta en el cerdo.**

Tipo de carbohidrato	Nivel (%)	0% (h) <sup>1</sup>	Digestibilidad (%)	
			MS	N
Glucosa	20	22.0	86.7	81.8
Lactosa		24.2	87.9	83.5
Almidón		25.1	89.4	84.7
Glucosa	40	9.8	83.3	73.5
Lactosa		21.2	87.6	79.3
Almidón		28.4	91.3	88.5

<sup>1</sup> Tiempo de aparición del marcador (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

FUENTE: Entringer et al (1975).

Nuevamente fueron probados la lactosa y el almidón de maíz pero a un nivel de un 50% en la dieta, para comparar los índices de tránsito de digesta y de digestión a un nivel igual y alto de lactosa y almidón (tabla 4.16). A pesar del efecto laxante que ha sido repetidamente informado que ocasiona la lactosa, no se halló en esta prueba reflejo alguno al compararse con el almidón de maíz en cuanto a la aparición fecal del óxido férrico ni sobre la digestión de la materia seca. Sólo se observó una depresión en la digestibilidad del N por inclusión del disacárido en el alimento.

**Tabla 4.16 Influencia de altas proporciones de lactosa o almidón de maíz sobre el tránsito de digesta en el cerdo.**

Tipo de carbohidrato	Nivel (%)	0% (h) <sup>1</sup>	Digestibilidad (%)	
			MS	N
Lactosa	50	25.2	90.9	82.7
Almidón	50	24.9	92.3	87.8

<sup>1</sup> Tiempo de aparición del marcador (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

FUENTE: Entringer et al (1975).

De los resultados de las observaciones de Entringer et al (1975), se pudiera concluir que la glucosa determina un tránsito inicial de digesta acelerado realmente, y en este caso, una disminución en la utilización digestiva de la materia seca. Es posible que ello haya ocurrido en las diferentes pruebas que se hicieron en Indiana debido al tipo de cerdos que se emplearon o tal vez a no estar adaptados a altos consumos de esta hexosa.

Una fuente de sacarosa tal como el azúcar crudo, fue utilizada por García (1972) para determinar el tiempo de retención del óxido crómico midiendo su aparición en las excretas. Este investigador informó que la velocidad de tránsito del frente del marcador no estuvo evidentemente influida por el nivel de azúcar (tabla 4.17).

Las dietas que contenían azúcar anulaban cualquier utilización digestiva de la fibra dietética, la cual además era baja (2.50 a 1.30%); como comparación, en la dieta de maíz-soya (fibra, 2.77%) la digestibilidad de la fibra fue de 28.4%. Por otro lado, la utilización digestiva del N y del ELN tendieron a disminuir y a elevarse, a medida que el azúcar crudo sustituyó al maíz.

**Tabla 4.17 Efecto de diferentes niveles de azúcar crudo sobre el tránsito de digesta en el cerdo.**

Nivel de azúcar crudo (%)	0% (h) <sup>1</sup>	Digestibilidad (%)	
		N	ELN
0	12.1	96.2	52.8
15	7.1	94.1	55.4
30	15.6	95.0	64.0
45	12.6	93.9	61.8
60	18.3	94.3	74.0

<sup>1</sup> Tiempo de aparición del marcador (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

FUENTE: García (1972).

Otras fuentes ricas en sacarosa, las mieles de caña, fueron probadas por Marrero y Ly (1979). En ese experimento se probaron una dieta rica en sacarosa (miel final) o en glucosa y fructosa (miel rica). Es conocido que la primera de estas mieles determina la frecuente emisión de excretas con un bajo contenido de humedad mientras que en la miel rica es todo lo contrario.

Pudo constatarse el hecho de que un mayor tiempo de retención de digesta estuvo asociado con una mayor extensión de la digesta (tabla 4.18). El hecho más significativo lo fue el tiempo de aparición del óxido crómico en las heces en ambos casos, menor que los hallados por García (1972) para dietas con altas proporciones de sacarosa en el alimento.

Estos resultados posiblemente no sean estrictamente comparables por la diferencia en el peso de los animales utilizados y por el nivel de consumo, pero son indicativos de que en dietas con altos niveles de miel de caña, la naturaleza de las mismas incide sobre los índices de digestión y tránsito.

**Tabla 4.18 Efecto de distintos tipos de mieles de caña sobre el tránsito de digesta en el cerdo.**

	MS fecal (g/100 g)	0% (h) <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	Digestibilidad
Miel rica	36.1	10.4	46.8	92.1
Miel final	14.6	2.8	34.4	87.3

<sup>1</sup> Tiempo de aparición del marcador en las excretas (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); <sup>2</sup> Intervalo entre la recuperación fecal del 5 y del 95% del marcador (según Castle y Castle 1956).

FUENTE: Marrero y Ly (1979).

La influencia del proceso tecnológico de preparación del alimento en el tránsito digestivo del cerdo también ha sido objeto de estudio. En un trabajo publicado por Lawrence (1970) se probó una dieta constituida por un 85% de cebada, molida de manera que el tamaño predominante de partícula fuera de 1.56; 4.58 o 9.36 mm o bien se picó ("coarse crimping") o aplastó ("cold rolling"). Estos cinco tratamientos se compararon con una dieta de cebada intacta. En la tabla 4.19 aparecen los índices relacionados con la digestibilidad y el tránsito de digesta.

Las dietas en las que la cebada estaba picada o entera, determinaron una menor eficiencia alimenticia. Sin embargo, aunque la cebada entera provocó un tiempo de retención menor y una digestibilidad también menor, lo que a primera vista es lógico, la digestibilidad del tratamiento de cebada picada no fue baja, mientras que la velocidad de tránsito no fue alta. Entre los tres tratamientos de cebada molida, el que tenía un tamaño de partícula menor determinó una retención y digestibilidad mayores. La eficiencia alimenticia fue relativamente alta.

**Tabla 4.19 Influencia del procesamiento del grano de cebada sobre el tránsito de digesta en el cerdo.**

Tipo de procesamiento	R (h) <sup>1</sup>	MS	N	Fibra	ELN
Entero	29.9	63.6	57.9	25.0	64.1
Picado	40.4	79.2	72.7	18.3	85.6
Aplastado	35.6	80.9	75.2	22.3	86.9
Molido (9.36 mm)	38.1	78.2	78.8	22.1	82.9
Molido (4.68 mm)	38.3	79.8	80.3	25.3	84.8
Molido (1.56 mm)	57.5	80.5	81.7	31.4	85.1

<sup>1</sup> Intervalo entre la recuperación fecal de 5 y del 95% del marcador (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

FUENTE: Lawrence (1970).

La respuesta en la digestibilidad de las dietas de cebada aplastada es particularmente interesante desde el punto de vista de que resalta completamente la hipótesis de una mayor digestibilidad para un tamaño de partícula menor, y por tanto una superficie mayor con mayores probabilidades para el ataque enzimático en el intestino delgado.

Lawrence (1970) señaló que los procesos de aplastamiento o picado, que dan origen a un tamaño de partícula prácticamente igual, se diferencian en que el primero de los dos produce partículas más aplanadas y con formas menos regulares. Esto pudo afectar la digestión y por tanto la digestibilidad de la dieta.

El maíz es otro grano de cereal que ha sido tratado tecnológicamente con vistas a ser incluido en la alimentación porcina. Borgida (1976) midió el efecto que sobre la digestión en el cerdo tenía el suministrar el maíz molido o procesado en forma de hojuelas (87% de la dieta). Los cerdos sacrificados una o tres horas después de la ingestión matutina del alimento en forma de pasta (MS, 28%), marcado con óxido crómico y PEG.

Borgida (1976) notó que en ambos tratamientos el marcador de la fase insoluble no mostró diferencias en su tránsito desde el estómago hasta el ciego en el período de tres horas examinado. En cambio, el PEG se retardó notablemente en su tránsito cuando el maíz estaba en hojuelas; ya que el estómago retuvo el 73% y el 60% de la dosis a la hora y 3 horas postingestión, en contraste la dieta con el maíz no tratado determinó una retención de 23% y 18% para los mismos lapsos.

Un experimento con múltiples propósitos fue diseñado por Seerley et al (1962 a) en el que se estudió el tránsito de digesta de dietas con las que se había determinado previamente los rasgos de comportamiento zootécnicos e índices de digestión (Seerley et al 1962 b). Dos dietas, una conteniendo un 77.25% de maíz y otra conteniendo el 40.25% del mismo cereal y un 40% de avena, se suministraron en forma de harina o de granulado (2.34 mm). El consumo fue regulado, en cerdos pareados, ajustando aquel por la mayor cantidad consumida por uno de los integrantes del par, o ad libitum.

Tomando en consideración los resultados del consumo regulado, se observó que en la dieta de maíz o en la de maíz y avena, el hecho de la granulación de la misma determinó un tiempo de retención menor que cuando las mismas estaban preparadas en forma de harina (tabla 4.20). En cuanto a los índices de digestión, se observó que el granulado incrementaba la digestibilidad de la energía, pero no la del nitrógeno.

Asimismo cuando la alimentación fue ad libitum, en ambas dietas también el tránsito de digesta fue más rápido (menor retención) con el granulado, observándose igualmente una menor digestibilidad del nitrógeno. La digestibilidad de la energía aquí fue mayor para la dieta de maíz, pero no fue así para la de avena.

De los resultados informados por Seerley et al (1962 a) se deduce que la granulación de una dieta independientemente del nivel de consumo, determina un tránsito de digesta más rápido por el TGI, que cuando ese mismo alimento se dispensa a los animales, en forma de harina. Pero a la vez, la forma física de la ración no parece influir en los índices digestivos (Seerley et al 1962 b).

En primera instancia, lo anterior parece ser paradójico, puesto que debiera afectar también la digestibilidad. En la dieta de maíz, Seerley et al (1962 a) hallaron que el alimento marcado se retenía 6.5 o 3.8 horas menos cuando la dieta se granulaba, en condiciones de ingestión controlada o ad libitum y en la dieta que contenía maíz o avena, las cifras correspondientes fueron 22.5 y 12.2 horas menos. Es posible por tanto que la velocidad de digestión sea la respuesta a esta contradicción, que puede haber tenido lugar en las áreas prececales, en el intestino grueso, o en ambos sitios, dependiendo en tales circunstancias de la fuente del almidón, según demostraron Keys y DeBarthe (1974b).

**Tabla 4.20 Influencia de suministrar dietas granuladas o en forma de harina sobre el tránsito de digesta en el cerdo.**

Tipo de procesamiento	Recuperación del marcador (h)			Digestibilidad	
	5%	95%	R <sup>1</sup>	N	Energía
Alimentación regulada: <sup>2</sup>					
MAIZ					
Harina	20.1	61.1	35.8	78.7	82.5
Granulado	17.7	53.4	29.3	78.0	84.6
MAIZ-AVENA					
Harina	24.1	58.7	37.2	79.1	75.5
Granulado	17.5	60.2	33.4	78.6	76.9
Alimentación <i>ad libitum</i>					
MAIZ					
Harina	26.0	88.3	47.8	81.0	81.9
Granulado	18.0	41.3	25.3	80.0	84.5
MAIZ-AVENA					
Harina	21.0	70.7	39.4	83.8	78.8
Granulado	18.3	58.5	27.2	79.4	75.8

<sup>1</sup> Intervalo entre la recuperación fecal de 5 y 95% del marcador; <sup>2</sup> pareada

FUENTE: Seerley et al (1962 ab).

Visto este asunto desde otro ángulo, el alimento granulado pudo activar la motilidad del tracto digestivo, induciendo una mayor peristalsis al estilo de los residuos de difícil digestión, como la fibra. Si el proceso de granulación tendió a facilitar el ataque enzimático del almidón de la dieta, y de esta manera se contribuyó a una elevación en la digestibilidad de la energía, también pudo incrementarse el tránsito digestivo, presumiblemente en las áreas prececales. Sin embargo, es difícil establecer una hipótesis adecuada que explique congruentemente lo observado por Seerley et al (1962 ab). En realidad el informe hecho de los experimentos que se realizaron, no detalla la composición en nutrientes de las dietas, ni es preciso en el consumo de alimento.

En otro experimento se comparó el tránsito de digesta en cerdos alimentados con una dieta granulada (7 x 10 mm) o en forma de harina (Eeckhout 1972). Los resultados de Eeckhout (1972) no concordaron con los de Seerley et al (1962a). Mientras que en la raza Pietrain el valor de R fue 132 minutos menos para el granulado, lo contrario ocurrió en la raza Landrace, donde la dieta en forma de gránulos determinó un valor de 224 minutos (ver tabla 4.8).

Por otro lado los tiempos de recuperación fecal del 5 y del 95% del marcador fueron mayores en la raza Landrace para el granulado, pero en la raza Pietrain fueron menores o iguales. Eeckhout (1972) admitió que debido a que los cerdos de esta última raza tienen un consumo voluntario de alimento menor, este hecho determinó que en su experimento, el tránsito de digesta fuese menor en la raza Pietrain. Ello sin duda complica la situación desde el punto de vista de la comparación de los resultados entre la harina y el granulado. Sin embargo, tal como afirmó Eeckhout (1972), no hay una evidencia experimental firme que apoye el criterio de que el tránsito de digesta se acelera siempre por el hecho de granular la dieta. Sin duda que otros factores determinantes del tránsito de digesta, han pesado en uno u otro sentido en los resultados de Seerley et al (1962 a) y en los de Eeckhout (1972). Esto hace pensar que el efecto de la granulación del alimento sobre el tránsito digestivo en el cerdo, no está claramente definido hasta el momento.

### **Método de medición del tránsito de digesta**

El tránsito de digesta en el cerdo suele medirse mediante la incorporación de un marcador en la dieta de una sola vez, y a continuación se recupera el mismo en las excretas en forma cuantitativa y además se estudia la forma de la curva de excreción. Estas medidas hechas originalmente mediante muestreos fecales, pueden realizarse también en cualquier punto del tracto gastrointestinal, generalmente en el estómago, después del duodeno, o en el íleon terminal.

Para poder hacer los estudios de tránsito de digesta se requiere establecer un plano de muestreo experimental dividido en períodos de tiempo bien establecidos en los cuales es indispensable la recogida cuantitativa de las excretas o el contenido digestivo. De acuerdo con la experiencia acumulada la recuperación total del marcador puede necesitar de varios días consecutivos de recolección.

Las características de un marcador de digesta ya han sido detalladas anteriormente. Otro aspecto importante que debe mencionarse es el método de cuantificación, generalmente por la vía de la química analítica, el cual debe ser precisa.

## ANEXO I

Ejemplo hipotético de la determinación del tránsito de digesta en un cerdo.

Cantidad ingerida del marcador: 270 mg

Tiempo ingestión marcador (h)	post-del	Excreción fecal (g de MS)	Concentración de marcador (mg/100 g MS)	Excreción fecal del marcador		
				Muestra (mg)	Acumulado (mg)	Recuperado (%)
12		250	0	0	0	
24		180	0	0	0	
36		270	5.67	15.3	15.3	5.7
48		115	16.00	18.4	33.7	12.6
60		305	6.69	20.4	54.1	20.0
72		270	7.63	20.6	74.7	27.7
84		100	38.50	38.5	113.2	41.9
96		243	16.54	40.2	153.4	56.8
108		132	27.73	36.6	190.0	70.4
120		208	16.92	35.2	225.2	83.4
132		275	7.60	20.9	246.1	91.1
144		205	4.10	8.4	254.5	94.3
156		170	4.88	8.3	262.8	97.3
168		290		0	0	97.3

## REFERENCIAS:

- Argenzio, R.A., Lowe, J.E., Pickard, D.W. y Stevens, C.E. 1974. *Amer. J. Physiol.* 226:1035.
- Balch, C.C. 1961. London, Butterworths, Capítulo 3, p. 23.p
- Borgida, L.D. 1973. *J. Etude Physiol. Biochim. Digestion.* Marseille (abstract N°3).
- Borgida, L.D. 1976. *Ann. Zootech.* 25:337-349.
- Braude, R., Mitchell, K.G. 1951. *Agriculture* 57:501.
- Braude, R., Mitchell, K.G., Newport, M.J. y Porter, J.W.G. 1970a. *Brit. J. Nutr.* 24:501-516.
- Braude, R., Newport, M.J. y Porter, J.W.G. 1970b. *Brit. J. Nutr.* 24:827-842.
- Castle, E.J. y Castle, M.E. 1956. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 47:196.
- Castle, E.J. y Castle, M.E. 1957. *J. Agric. Sci. (Cambridge)* 49:106.
- Clemens, E.T., Stevens, C.E. y Southworth, M. 1975. *J. Nutr.* 105:759-768.
- Cuperlovic, M., Hristi, V. y Cmiljanc, R. 1972. *Acta Veterinaria* 22:111.
- Eeckhout, W. 1972. *Rev. Agric.* 25:421.
- Ekstrom, K.E., Grummer, R.H., y Benevenga, N.J. 1976. *J. Anim. Sci.* 42:106.
- Entringer, R.P., Plumles, M.P., Conrad, J.H., Cline, T.R. y Wolfe, S. 1975. *J. Anim. Sci.* 40:486-494.
- García, E. 1972. *Acta Agron.* 22:209.
- Goldstein, S. 1950. Tesis. Univ. Zurich.
- Graham, H. y Aman, P. 1986. *Anim. Prod.* 43:133-140.
- Henry, Y. y Étienne, M. 1969. *Ann. Zootech.* 18:337-357
- Hill, K.J., Noakes, D.E. y Lowe, R.A. 1970. Newcastle upon Tyne. Oriel Press Ltd. p. 166-180.
- Horszczaruk, F. 1962. *Roczn. Nauk. Roln.* 80-B2:115.
- Hyden, S. 1961. London, Butterworth p. 35-47.
- Ishikawa, S. y Sugirmura, K. 1973. *Agric. Biol. Chem.* 37:203-206
- Keys, J.F. y DeBarthe, J.V. 1974b. *J. Anim. Sci.* 39:57-62

Kim, K.I., Jewell, D.E., Benevenga, N.J. y Grummer, R.H. 1978. *J. Anim. Sci.* 46:1658-1665  
Laplace, J.P. 1972. *Ann. Zootech.* 21:83.  
Latymer, E.A., Low, A.G. y Woodley, S.C. 1985. *Kobenhavn.* p. 215-218.  
Lawrence, T.L.J. 1970. *Anim. Prod.* 12:139-150  
Lenkeit, W. 1932. *Berliner Tierarztl. Wochenschr.* 48:17.  
Leterme, P., Pirard, L., Thwis, A. y Francois, E. 1991. *Anim. Prod.* 53:253-256.  
Ly, J. 1979. *Centr. Inform. Docum. Agrop. Min. Agricultura. La Habana,* 108 p.  
Maner, J.H., Pond, W.G. y Loosli, J.K. 1961. *J. Anim. Sci.* 20:614-620  
Maner, J.H., Pond, W.G., Loosli, J.K. y Lowrey, R.S. 1962. *J. Anim. Sci.* 21:49-52  
Mangold, E. y Behm, G. 1954. *Arch. Tierernahr.* 5:10.  
Marrero, L. y Ly, J. 1979. *Cienc. Tec. Agric. Ganado Porcino* 2(4).103-112  
Moore, J.H. 1957. *Brit. J. Nutr.* 11:273.  
Murray, A.G. 1976. *Thesis. Univ. Aberdeen,* 42 p.  
Ollivier, L. y Henry, Y. 1978. *Ann. Genet. Sel. Anim.* 10:99-124  
Parker, J.V. y Clawson, A.J. 1967. *J. Anim. Sci.* 26:485.  
Potkins, Z.V., Lawrence, T.L.J. y Thomlinson, J.R. 1991. *Brit. J. Nutr.* 65:391-413.  
Seerley, R.W., Miller, E.R. y Hoefler, J.A. 1962a. *J. Anim. Sci.* 21:834.  
Seerley, R.W., Miller, E.R. y Hoefler, J.A. 1962b. *J. Anim. Sci.* 21:829.

## **CAPITULO V**

**Digestión y digestibilidad. Digestibilidad de ingredientes y nutrientes en el cerdo. Tipos de digestibilidad. Factores que influyen en la digestibilidad de una dieta. Aspectos metodológicos.**

### **Introducción**

En la producción porcina es muy importante la eficiencia con que son utilizados los alimentos, si se tiene en cuenta que es consenso general que alrededor del 70% del costo de producción en esta ganadera descansa en los insumos de alimentos. A su vez la eficiencia en el aprovechamiento digestivo ha quedado bien establecido que está estrechamente relacionada con rasgos de comportamiento tales como la ganancia diaria, el consumo diario de alimento y la conversión alimentaria (CAPITULO I). Todo lo anterior es válido tanto para la alimentación convencional de cerdos como en la no convencional, siendo más útil en este último caso, cuando se trata de la determinación del valor nutritivo en un nuevo alimento.

### **Digestión y digestibilidad**

Por digestión puede entenderse todo el proceso de transformación que sufren los alimentos en el tracto gastrointestinal del animal desde su aprehensión e ingestión hasta la defecación o excreción de los residuos de alimentos que no han sido aprovechados por el animal. En el caso del cerdo, por ser una animal omnívoro, la digestión puede abarcar un conjunto de procesos que se corresponde con la acción de enzimas propias del animal y también por las de los microorganismos que el animal hospeda, esencialmente en el intestino grueso, y que pueden actuar sobre un sinnúmero de componentes dietéticos de naturaleza muy variada. La digestibilidad es el índice que cuantifica globalmente estos procesos y se suele expresar comúnmente como por ciento:

$$\text{Digestibilidad, \%} = (\text{consumo} - \text{excreción fecal}) / \text{consumo} \times 100$$

En la práctica lo que generalmente se denomina digestibilidad es en realidad una digestibilidad aparente, puesto que no tiene en cuenta las secreciones endógenas y las transformaciones que tienen lugar durante la digestión y que pueden ser excretadas por la vía fecal. Es muy difícil aún experimentalmente, poder delimitar cuál es la digestibilidad verdadera y particular, por lo que se acepta indistintamente el término de digestibilidad aparente o el de digestibilidad.

### **Digestibilidad de ingredientes y nutrientes en el cerdo**

#### **Digestibilidad de ingredientes**

La digestibilidad de un ingrediente o componente de una dieta suele medirse de manera indirecta, puesto que el sólo de por sí no constituye un alimento que cubra todos los requerimientos nutricionales del cerdo. Existen dos métodos de aproximación para solucionar este problema: en el primero, con un consumo de alimento constante, se sustituye parte de la ración por el ingrediente cuya digestibilidad se desea conocer. Esta sustitución puede hacerse a varios niveles, con vistas a obtener una ecuación de primer grado, y por extrapolación obtener el dato investigado.

En el segundo método se le suministra al animal una ración básica cuya digestibilidad está bien restablecida y a continuación se añade como suplemento el ingrediente de digestibilidad no conocida. En este caso la digestibilidad se suele calcular por un sencillo análisis aritmético. Ambos métodos parten de la hipótesis de que la digestibilidad de cada uno de los ingredientes de la dieta es invariable, o lo que es lo mismo, no interacciona con lo de los otros componentes de la dieta. Esto suele denominarse principio de aditividad. En líneas generales esto parece ser cierto, puesto que el error experimental no suele descubrir ningún cambio apreciable en la digestibilidad de la dieta basal,

debido a que el ingrediente a estudiar es parecido en su composición de nutrientes a la dieta básica o a que los niveles de inclusión suelen ser bajos. Sin embargo en casos extremos el principio de aditividad no es real. Estos casos extremos pueden ser un ingrediente que sólo contiene uno de los nutrientes de la dieta, o que posee factores antinutricionales.

La primera de estas excepciones ha sido demostrada en experimentos hechos en Rostock por investigadores que estudiaron en cerdos adultos la digestibilidad de la sacarosa o de la celulosa, incluida en una ración básica convencional de cereales y granos, y en los que representaban el 33% de la energía bruta dietética. Los resultados aparecen en la tabla 5.1.

**Tabla 5.1 Determinación de la digestibilidad de la sacarosa y la celulosa en cerdos a partir de una dieta básica.**

Digestibilidad (%)	Dieta básica	Suplementos	
		Sacarosa	Celulosa
Materia orgánica	86.4	96.6	43.6
Carbohidratos	84.4	95.8	42.0
Energía	83.4	95.0	40.5

FUENTE: Nehring et al (1969).

Como es fácil apreciar, la sacarosa, que sólo posee la fracción ELN de la dieta fue más digestible que ésta, mientras que la celulosa, conteniendo sólo la fracción fibra cruda, resultó considerablemente menos digestible que la misma dieta básica. Los investigadores de Rostock informaron que la celulosa hizo disminuir la digestibilidad de la proteína, la grasa y el ELN de la dieta en 25.8; 15.9 y 10.4% respectivamente.

### Digestibilidad de un nutriente

El conocimiento preciso de la digestibilidad de cada una de las entidades químicamente definidas dentro de un alimento es hasta el momento muy difícil de alcanzar. Esto se debe a que la excreción fecal no consiste en los residuos de la dieta que no han sido digeridos por el cerdo, sino en una mezcla de éstos, de parte de los mismos transformados, de secreciones endógenas y descamaciones de la mucosa intestinal, así como de productos del metabolismo microbiano de la flora gastrointestinal que normalmente coloniza todo el canal alimentario.

Esto se ha demostrado que es así en mayor o menor grado para cada uno de los integrantes de cada una de las fracciones que constituyen el esquema analítico de Weende.

Por ejemplo, dentro de la fracción del extracto etéreo, los ácidos grasos insaturados son hidrogenados por la microflora del intestino grueso; carbohidratos como la lactosa o los constituyentes del almidón de algunos tubérculos como la papa son transformados en ácido láctico y ácidos grasos volátiles. A su vez los aminoácidos constituyentes de la proteína que escapan a la digestión del intestino delgado, pueden ser o bien descarboxilados, transformándose en aminas o bien son desaminados, convirtiéndose en ácidos orgánicos.

Tal vez las entidades químicas que son más susceptibles de ser controladas durante su digestión son los minerales, entre los cuales los de mayor interés serán el calcio y el fósforo. En ayuda del nutricionista estarán las técnicas radioisotópicas, las cuales han ayudado a marcar un compuesto en particular para determinar su destino una vez ingerido por el cerdo. Estos métodos han ayudado en gran medida a esclarecer muchos aspectos de la digestión y la absorción en el cerdo y otras especies, pero por lo costoso y el rigor que se requiere en su empleo, no son usados en estudios rutinarios de digestibilidad.

## **Tipos de digestibilidad**

La digestibilidad de un alimento suele expresarse como la digestibilidad del mismo en base seca, y también como la digestibilidad de sus principios nutritivos. Estos últimos a pesar de los criterios surgidos acerca de su expresión en términos químicos o bioquímicos, siguen aceptándose como los de mayor utilidad práctica, y se corresponden con el bien conocido esquema analítico de Weende, es decir, ceniza, materia orgánica (materia seca menos ceniza), proteína cruda (N x 6.25), extracto etéreo o grasa cruda, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno, el que incluye el almidón y otros azúcares solubles.

A estos principios nutritivos se suele agregar la energía bruta. Lo anterior no excluye la posibilidad de determinar otras fracciones o nutrientes presentes en un alimento en cuestión, que pueden contribuir a profundizar en el conocimiento de su potencial nutricional, como el contenido de pared celular, la lignina, los aminoácidos y otros. Desde un punto de vista general, los indicadores de digestibilidad de mayor interés son la digestibilidad del N, y por extensión, de la proteína, la materia orgánica y la energía.

Otro aspecto a tener en cuenta en cuanto a los tipos de digestibilidad es la tendencia actual a tener en cuenta dos tipos de digestibilidad de los alimentos o nutrientes: la digestibilidad boca-recto o total y la digestibilidad boca-león o prececal. Con la primera se mide toda la desaparición del alimento en el tracto gastrointestinal y comprende las llamadas digestión enzimática (hasta el león) y la microbiana o que tiene lugar en el intestino grueso. Se ha encontrado que la primera de ambas o digestibilidad total está muy correlacionada en cuanto a la materia orgánica y a la energía con los rasgos de comportamiento, mientras que la digestibilidad ileal de la proteína está más correlacionada con estos mismos rasgos de comportamiento (ver CAPITULO I).

## **Factores que influyen en la digestibilidad de una dieta**

Cuando se habla de factores que pueden hacer variar los índices digestivos de una dieta, es referencia obligada citar los estudios resumidos por investigadores escandinavos, en particular los de Nordfeldt publicados en 1954 (citado por Kidder y Manner 1978). Este investigador revisa 1 560 experimentos de digestibilidad hechos entre 1900 y 1951 en el que se usaron desde cerditos hasta animales adultos con un peso superior a los 180 kg. De acuerdo con sus conclusiones la digestibilidad de la materia orgánica, el extracto libre de nitrógeno y la fibra cruda se incrementa consistentemente con el aumento de peso de los animales, mientras que lo contrario ocurre con el extracto etéreo. En lo tocante a la digestibilidad de la proteína no hubo una tendencia evidente.

Tal vez los factores que pueden influir en la digestibilidad no sean de igual interés en los cerditos destetados, en comparación con los animales comprendidos entre 30 y 100 kg, o con las cerdas reproductoras, por lo que es importante conocer en la práctica el tipo de animal en el que se quiere emplear un alimento, a fin de que los datos sean útiles. A este respecto, mucho se ha avanzado a partir del Primer Seminario en Fisiología Digestiva del Cerdo organizado por Braude y sus colaboradores en Shinfield en 1979 y que sigue celebrándose cada tres años.

Los factores que pueden influir en la digestibilidad en el cerdo podrán ser organizados en factores genéticos y de crecimiento o ambientales de una parte y factores dietéticos. Debido a que estos factores suelen modificar a su vez el tránsito de digesta, se han presentado en cierta medida al discutirse este tema (CAPITULO IV). Una revisión muy completa sobre distintos factores sobre todo de índole nutricional ha sido hecha por Oude et al (1986). Otros aspectos igualmente interesantes han sido expuestos por Wenk (1986).

De acuerdo con Wenk (1986) a partir de resultados obtenidos con experimentos propios, no hay cambios de importancia en la digestibilidad de la energía por causa del sexo de los cerdos aunque sí los hay por la edad, puesto que los cerdos en acabado decididamente digieren mejor la energía que éstos en la etapa de crecimiento. Con respecto a la influencia de la raza, el efecto fue menos marcado. En los experimentos informados por Wenk y Morel (1985) se incluyeron 128 cerdos de la

séptima y octava generación de una selección de animales con crecimiento lento y mucho espesor de grasa dorsal (línea -) o viceversa (línea +). Un resumen de este trabajo aparece en la tabla 5.2.

**Tabla 5.2 Digestibilidad de la energía en cerdos como función de la línea de selección, sexo, nivel de consumo y peso corporal.**

<b>Peso corporal (kg)</b> <b>Sexo</b>	<b>30</b> <b>Hembras</b>	<b>Machos castrados</b>	<b>70</b> <b>Hembras</b>	<b>Machos</b> <b>castrados</b>
7ª Generación				
LINEA +				
Restringido	0.802	0.809	0.788	0.793
Ad libitum	0.792	0.805	0.799	0.797
LINEA -				
Restringido	0.795	0.800	0.793	0.806
Ad libitum	0.792	0.779	0.789	0.786
8ª Generación				
LINEA +				
Restringido	0.791	0.795	0.817	0.810
Ad libitum	0.799	0.795	0.807	0.808
LINEA -				
Restringido	0.784	0.789	0.812	0.810
Ad libitum	0.787	0.788	0.801	0.801

FUENTE: Wenk y Morel (1985).

Mientras que las consecuencias de la selección revelaron sólo ligeros aunque evidentes cambios en la digestibilidad de la dieta de los cerdos, el contraste entre genotipos tan distintos como Large White y Meishan expresaron datos bien distintos en diferentes índices digestivos (ver Evrier et al 1988). El efecto de raza en la digestibilidad del N también se ha evidenciado en un experimento de Nueva Zelanda (ver tabla 5.4).

La diferencia entre pesos o edades que hallaron Wenk y Morel (1985) pueden considerarse como una confirmación de trabajos anteriores como los de Fonoll et al (1966) y Siers (1975). A este respecto Oude et al (1986) han indicado que con el incremento del peso corporal, aumenta la digestibilidad; y que este incremento es mayor para el nitrógeno que para la materia seca o la materia orgánica. Como ilustración en la tabla 5.3 aparecen los datos de Roth y Kirchgessner (1984) concernientes al efecto de la edad en la digestibilidad.

**Tabla 5.3 Efecto del peso corporal en la digestibilidad de la MS y el N.**

<b>Peso corporal (kg)</b>	<b>Digestibilidad (%)</b>	
	<b>MS</b>	<b>N</b>
8-12	79.5	78.0
12-19	82.6	82.8
35-50	80.4	78.0
50-65	81.5	81.1
65-80	81.8	82.3

FUENTE: Roth y Kirchgessner (1984).

Oude et al (1986) han señalado que el incremento de la digestibilidad por kg de aumento en el peso corporal es mayor cuando el peso corporal es bajo que cuando éste es alto. También se ha sugerido que el tipo de alojamiento y otros factores tales como el grado de actividad del animal, el estado reproductivo de la cerda y enfermedades subclínicas, pueden tener más influencias de lo que se supone en la digestibilidad del alimento.

Entre los factores de naturaleza dietética merece mencionarse en primer término el nivel de consumo o plano de alimentación. Otro factor de importancia puede ser el nivel dietético de fibra cruda. En lo referente al nivel de consumo, casi siempre se concuerda en que tanto la digestibilidad del N, como la de la materia seca y la de la materia orgánica son inversamente proporcionales al nivel de consumo de la dieta; esto es más acentuado en la digestibilidad del nitrógeno. Por otra parte el efecto del nivel de consumo no es lineal en las cerdas reproductoras (Oude et al 1986). En el caso específico de la digestibilidad del N, hay experimentos en los que no se ha hallado efecto del nivel de consumo (Noblet et al 1985), o por el contrario una proporcionalidad directa (Fuller y Boyne 1971; Holmes et al 1983). Como ilustración, se presentan los datos de Holmes et al (1983) en la tabla 5.4.

**Tabla 5.4 Digestibilidad y retención del N en cerdos de acuerdo con la raza, el nivel de alimentación (alto/bajo) y el peso corporal.**

Nivel de alimentación Raza	Alto		Bajo	
	Large White	Duroc	Large White	Duroc
PESO A LOS 30 kg				
Digestibilidad (%)	78	74	85	80
Retención (g/kg) 0.75/día	1.58	1.67	1.14	0.99
PESO A LOS 80 kg				
Digestibilidad (%)	79	76	82	75
Retención (g/kg) 0.75/día	1.24	1.01	0.79	0.60

Nivel alto: 1.22 y 2.88 kg a 20 y 80 kg; Nivel Bajo: 0.77 y 1.82 kg a 20 y 80 kg.

FUENTE: Holmes et al (1983).

La temperatura ambiental ha sido objeto de estudio desde el punto de vista de su influencia en la digestibilidad de la dieta. Sin embargo pudiera decirse que no hay consenso en el efecto que ocasiona en el cerdo. Noblet et al (1985) estudiaron cómo podrían cambiar la digestibilidad de la energía en cerdos alimentados con raciones de alta y baja densidad energética en el borde inferior (23°C) o por debajo (13°C) de la zona de termoneutralidad y hallaron que el efecto de temperatura fue menos influyente que el de densidad energética en los índices digestivos, mientras que el nivel de consumo no mostró influencia. Fuller y Boyne (1971) ya habían estudiado el efecto de temperatura desde el imite inferior de la zona de termoneutralidad hacia abajo en cerdos alimentados con tres niveles de consumo diferentes. Mientras que la digestibilidad del N no pareció estar influida por la temperatura ambiental, cuando ésta disminuyó lo hizo también la retención del N (tabla 5.5).

**Tabla 5.5 Efecto de la temperatura del ambiente en la digestibilidad y retención del N en cerdos.**

	Temperatura ambiental (°C)		
	5	13	23
Balance de nitrógeno			
Digestibilidad (%)	82.2	82.1	83.4
Retención diaria (g/kg (0.73))	0.73	0.94	1.15

Nivel de consumo ajustado a 117 g/kg (0.73)

FUENTE: Fuller y Boyne (1971).

En experimentos en que se estudió el efecto de la temperatura del ambiente desde la zona de termoneutralidad hacia arriba, Holmes (1973) halló que la digestibilidad de la energía, la materia seca y el nitrógeno parecían disminuir al pasar la temperatura desde 25 hasta 33-35 grados Celsius (tabla 5.6).

**Tabla 5.6 Efecto de la temperatura ambiente en la digestibilidad de dietas de cebada para cerdos.**

	Temperatura ambiental (°C)	
	25	33-35
Digestibilidad de MS (%)	84.3	82.4
BALANCE DE ENERGÍA (%)		
Digestibilidad	85.4	83.4
Retención/consumo	90.9	79.5
Retención/digestión	95.1	94.8
BALANCE DE N (%)		
Digestibilidad	86.6	85.8
Retención/consumo	35.5	26.4
Retención/digestión	42.0	30.7

Cerdas entre 20 y 70 kg

FUENTE: Holmes (1973).

Los resultados de Holmes (1973) no siempre se han confirmado con posterioridad. A favor de un efecto negativo de la temperatura alta en índices digestivos está el informe de Christon (1988), quien ha sugerido una influencia adversa del clima tropical en la deposición de proteína aunque la digestibilidad del N sea mayor en ese ambiente, tal como se muestra en la tabla 5.7.

**Tabla 5.7 Efecto de la temperatura ambiente en el balance de nitrógeno de cerdos en acabado alimentados restringidamente.**

	Ambiente neutral	Ambiente tropical
	17-21°C	22-32°C
Balance de Nitrógeno (g/kg (0.75))		
Consumo	1.90	1.92
Excreción fecal	0.28	0.25
Digestibilidad (%)	85.4	87.1
Excreción urinaria	0.92	1.07
Retención	0.71	0.61

FUENTE: Christon (1988).

Resultados que no se parecen a los anteriores son los de Hsia y Lu (1988), quienes compararon 30°C con 20°C en experimentos en los que se varió el nivel de proteína pero no el de energía y viceversa. Se encontró en el primer caso que no hubo efecto de temperatura en la digestibilidad de la energía, el nitrógeno, el calcio y el fósforo, pero sí lo hubo para la lisina y para el valor biológico de la proteína a favor de la temperatura alta.

En el segundo caso hubo una respuesta positiva a la elevación de la temperatura para la digestibilidad de la energía y la lisina. Ya anteriormente Hsia y Lu (1985) habían observado que en sistema de alimentación restringida, la digestibilidad de la proteína era mayor a una alta temperatura en comparación con otra medida por debajo de la temperatura óptima. En un rango de temperatura más estrecho, Kaji y Furuya (1988) han informado que no hay diferencias apreciables en la digestibilidad de la materia seca, el nitrógeno y la energía entre grupos de cerdas durante la gestación o la lactancia mantenidas a una temperatura adecuada (23°C) o superior a ésta (26.6°C ambiente, pero muy variable).

Entre los factores de naturaleza dietética que pueden influir en los índices digestivos del cerdo, algunos son más bien de naturaleza física, como el tamaño de partículas, otras son originadas por el proceso tecnológico o de fabricación del alimento. Por último hay otros factores más relacionados con los nutrientes presentes en el alimento.

El trabajo publicado por Owsley et al (1981) puede ser un ejemplo que muestra cómo la disminución del tamaño de partículas mejora la digestibilidad de distintos nutrientes y de la energía tanto hasta íleon como hasta el recto (tabla 5.8). Un menor tamaño de partículas debe facilitar el proceso de la digestión al aumentar considerablemente la superficie de contacto del alimento y el acceso a los sustratos por parte de las enzimas digestivas.

**Tabla 5.8 Influencia del tamaño de partícula del sorgo en índices digestivos del cerdo.**

	Tamaño de la partícula		
	Grueso	Medio	Fino
Módulo de finura	3.57	2.85	2.36
Digestibilidad de MS (%)			
Ileal	68.3	73.3	77.8
Total	87.6	88.2	91.3
Almidón			
Ileal	72.2	78.1	86.0
Total	95.8	95.2	98.4
Energía			
Ileal	68.3	73.6	78.2
Total	85.5	86.8	90.5
Nitrógeno			
Ileal	70.1	73.4	77.8
Total	77.1	79.5	85.2

FUENTE: Owsley et al (1981).

Ya previamente Lawrence (1970) había proporcionado una evidencia experimental clara de la influencia del tamaño de partícula en diferentes índices digestivos boca-recto junto con datos de tiempo de retención de digesta de dietas de cebada (tabla 5.9)

**Tabla 5.9 Influencia del tamaño de partícula de la cebada en índices digestivos del cerdo.**

Tipo de procesamiento	DIGESTIBILIDAD (%)				
	R (horas) <sup>1</sup>	MS	N	Fibra cruda	ELN
Entera	29.9	63.6	57.9	25.0	64.1
Picada	40.4	79.2	72.7	18.3	85.6
Aplastada	35.6	80.9	75.2	22.3	86.9
Molida (9.36 mm)	38.1	78.2	78.8	22.1	82.9
Molida (4.68 mm)	38.3	79.8	80.3	25.3	84.8
Molida (1.56 mm)	57.5	80.5	81.7	31.4	85.1

<sup>1</sup> Intervalo entre la recuperación fecal del 5 y del 95% del marcador.

FUENTE: Lawrence (1970).

Un ejemplo de una forma de procesamiento propio de la década de los 80's, conjuntamente con métodos quirúrgicos y analíticos más precisos y exactos, pudieran darse en el artículo de Fadel et al (1988). Este grupo de investigadores de Montana utilizaron cebada procesada por extrusión y cocción que fue dada a cerdos provistos con una cánula ileo-cecal. Se halló en resumen que la extrusión de los granos alternó la composición química y la digestibilidad ileal, pero no la fecal, de los componentes dietéticos.

**Tabla 5.10 Efecto de la extrusión de cebada en índices digestivos del cerdo.**

Digestibilidad (%) Tratamiento	Ileal		Total	
	Cruda	Extruida	Cruda	Extruida
Materia seca	55.6	62.0	77.4	78.0
Energía	57.9	64.9	74.6	79.6
Ceniza	5.8	-0.6	34.0	26.9
Nitrógeno	62.4	69.2	74.1	80.6
Grasa cruda	66.1	62.7	64.6	65.1
Almidón	83.7	96.9	97.0	99.7
Lignina Klason	-35.8	10.9	-20.5	35.5
PNA insoluble	26.6	17.1	57.7	59.6
PNA soluble	36.7	56.4	80.4	86.9

<sup>1</sup> PNA, polisacárido no almidón.

FUENTE: Fadel et al (1988).

Como se hizo evidente, la elevación de la digestibilidad prececal de la energía en la dieta de la cebada tratada ocurrió en lo fundamental por un incremento en la digestión del almidón (tabla 5.10).

Entre los nutrientes que componen la dieta el que tal vez se ha estudiado más pudiera serlo la fibra cruda o los componentes de la pared celular vegetal.

Una conclusión muy general que podrá generarse de todos los experimentos que se han ejecutado establecerá que la fibra cruda tiene un efecto depresivo pequeño en la digestibilidad del nitrógeno en comparación con el ejercido en la digestibilidad de la materia seca y la materia orgánica, según sugerencia de Oude et al (1986). Las ecuaciones que describirán esta dependencia serán:

Digestibilidad (Y, %)	Ecuación de predicción
Materia seca	$Y = 94.8 - 1.92x$

Materia orgánica	$Y = 99.5 - 2.31x$
Nitrógeno	$Y = 90.9 - 1.37x$

donde x es el porcentaje de fibra cruda en la dieta. Estas ecuaciones concuerdan con las presentadas por Nordfeldt et al (1954, citado por Oude et al 1986) quienes procesaron datos publicados entre 1900 y 1951, y que corresponden a 1 560 pruebas de digestibilidad hechas con 1 698 cerdos. Las ecuaciones de Nordfeldt et al (1954) aparecen a continuación:

Digestibilidad (Y, %)	Ecuación de predicción
Materia orgánica	$Y = 92.74 - 1.818x$
Nitrógeno	$Y = 84.93 - 1.359x$

**Tabla 5.11 Efecto de la fibra dietética en índices digestivos de cerdos.**

Nivel de fibra (%) Ingrediente	Bajo	Alto	
	---	Alphafloc	Paja
Celulosa (%)	2.0	11.6	6.4
Digestibilidad ileal (%)			
Materia seca	82.5	69.5	69.5
Nitrógeno	80.9	78.0	77.8
Energía	85.9	74.5	74.1
Digestibilidad total (%)			
Materia seca	94.6	86.1	84.9
Nitrógeno	91.7	87.1	88.1
Energía	95.9	87.6	86.2
Aminoácidos esenciales	91.7	87.4	89.1

FUENTE: Sauer et al (1991).

Tal vez una contribución nueva en el tema de la influencia de la fibra dietética en la digestibilidad de otros componentes del alimento, lo sea el experimento de Sauer et al (1991). Estos investigadores no hallaron efecto alguno en la digestibilidad ileal de aminoácidos indispensables, en contraste con la digestibilidad fecal de los mismos, que sí disminuyó en favor de un aumento en la presencia en las excretas del ácido 2.4 diamino pimélico (tabla 5.11).

### Aspectos metodológicos

#### Formas de medición de la digestibilidad

Existen dos métodos para medir la digestibilidad de un alimento, el método directo y el método indirecto. Ambos métodos poseen ventajas y desventajas. En el método directo se registra exactamente el consumo de alimento y la excreción fecal de un animal sometido a un tratamiento dietético dado, en un período de tiempo también exacto, que generalmente no es menor de 5 días consecutivos (ver Thorbek 1975), después de un período de adaptación que generalmente no es menor de una semana. Para efectuar este tipo de trabajo se requiere el alojamiento individual de los cerdos en las llamadas cajas de digestibilidad o jaulas de metabolismo. Estas jaulas deben poseer las características siguientes según Colomer-Roche y Henry (1970):

- Estarán diseñadas para recoger cuantitativamente y por separado todas las excretas y orinas.
- El comedero se diseñará de tal forma que el cerdo consuma el alimento sin desperdiciarlo, y que de existir residuos, puedan recogerse sin pérdidas.
- Poseer mecanismos apropiados para adaptar la jaula al tamaño del animal de forma tal que éste no tenga la posibilidad de voltearse, introducir parte del cuerpo en el comedero o defecar u orinar fuera de los lugares apropiados.

### **La jaula deberá ser de fácil limpieza y desinfección.**

Una de las ventajas más notorias del método directo de medir la digestibilidad es que permite obtener la orina si se desea, lo que posibilita el cálculo de la retención fundamentalmente de nitrógeno y energía. Una de las desventajas más importantes tal vez sea el hecho de que puede existir contaminación entre excretas y orinas y además el confinamiento de los cerdos, con el consiguiente poco ejercicio, reduce el tono muscular y probablemente al reducirse el tránsito de digesta, resulta en una sobreestimación de la digestibilidad con respecto a los animales alojados en corrales (Cole et al 1967).

Más recientemente la introducción en esta tónica del uso de catéteres urinarios de balón tipo Foley para la recolección de orina se ha ido generalizando y posibilita una buena separación sin contaminación de orinas y excretas en hembras, no solamente durante el crecimiento de los cerdos, sino también en la gestación y lactancia. Otro inconveniente es que hay que disponer de una instalación destinada particularmente para esta actividad. Por otra parte, generalmente el consumo diario de alimento se suele restringir, generalmente al 10% del peso metabólico o a veces a algo menos, lo que puede implicar que los índices digestivos se favorezcan debido a que éstos pueden elevarse al disminuir el nivel de consumo.

En muchos centros de experimentación se ha extendido el uso del diseño original de jaulas de Shinfield (Allen et al 1963; Frape et al 1968).

En el método indirecto para medir la digestibilidad no se requiere cuantificar ni el consumo ni la excreción fecal, puesto que en éste método se utiliza un marcador que puede añadirse al alimento o que está incluido dentro de él en forma natural. En este caso el cálculo de la digestibilidad, que también se basa en el principio de la conservación de la materia, se modifica un tanto con referencia a la forma de cálculo de la digestibilidad por el método directo:

$$\text{Digestibilidad de MS (\%)} = \left( 1 - \frac{XD}{XE} \right) \times 100$$

**1**

En el que XD y XE es el porcentaje del marcador en dieta y excreta respectivamente. En el caso de que sea un nutriente dado en cuestión, la fórmula se modificará así:

$$\text{Digestibilidad de Nutriente N (\%)} = \left( 1 - \frac{XD}{XE} \times \frac{NE}{ND} \right) \times 100$$

**2**

En el que XD y XE tienen el mismo significado que en la ecuación anterior, mientras que NE y ND será el por ciento del nutriente en excreta y dieta respectivamente, en base seca.

El marcador de digestibilidad debe poseer una serie de características para ser utilizado (Kolb y Luckey 1972):

- Debe ser inerte, es decir, no debe sufrir ninguna transformación a su paso por el tracto gastrointestinal del animal.
- Debe ser inocuo, o lo que es lo mismo, no influir en la salud del animal ni en el proceso de digestión.
- Debe transitar por el tracto gastrointestinal a la misma velocidad que el alimento que marca.
- Su determinación química debe ser cuantitativa.

No existe un marcador que pueda reunir todas las condiciones que se exigen idealmente. En la práctica suelen utilizarse en los experimentos de digestibilidad con cerdos, el óxido crómico, como el más común de los marcadores externos, y la ceniza ácido insoluble como la más usual de los marcadores internos. Esta es aparentemente una de las mayores desventajas en el empleo del método indirecto de medida de la digestibilidad en el cerdo, y en otras especies animales.

Entre las ventajas más significativas en el uso del método del marcador para medir la digestibilidad se encuentra el que no se necesitan instalaciones especiales ni un alojamiento específico para el cerdo. Por otra parte, las extracciones rectales de excretas pueden hacerse en los animales que se utilizan en las pruebas de comportamiento, lo que a su vez facilita la correlación entre los índices digestivos y los zootécnicos de ganancia diaria y eficiencia alimentaria entre otros. Además elimina la dificultad de la recolección fecal cuantitativa, lo que es una dificultad en el método directo.

## REFERENCIAS

- Allen M, Baber RS, Braude R y Mitchell KG. 1963. *J. Anim. Tech. Ass.* 14:103-110.  
 Colomer-Roche, F y Henry Y. 1970. *Zootechnia* 19:37-54.  
 Cole DJA, Duckworth JE y Holmes W. 1967. *Anim. Prod.* 9:141-148.  
 Christon R. 1988. *J. Anim. Sci.* 66:3112-3123.  
 Fadel JG, Newman CW, Newman RK y Graham H. 1988. *J. Anim. Sci.* 68:891-897.  
 Fonolla J, Varela G y Boza J. 1966. *Congr. Mundial Alim. Anim. Madrid* 2:301.  
 Fuller MF y Boyne AW. 1971. *Brit. J. Nutr.* 25:259-272  
 Frape DD, Wolf KL, Wilkinson J. y Chubb IG. 1968. *J. Instr. Anim. Techn.* 19:61-64.  
 Février C, Bourdon D, Aumaitre A, Peiniau J, Lebreton Y, Jaguelin J, Meziere N y Blanchard A. 1988. *Proc 4th Intern. Sem. Dig. Physiol. Pig Jablona* p. 172-179.  
 Holmes CW. 1973. *Anim. Prod.* 16:117-133.  
 Holmes CW, Smith WC y Moore YF. 1983. *Agric. Res.* 26:447-450  
 Hsia LC y Lu GH. 1985. *Chinese Soc. Amer. Sci.* 14:227  
 Hsia LC y Lu GH. 1988. *Ann. Rep. Pig. Res. Inst. Taiwan Chunan* p.16-17.  
 Kaji Y y Furuya S. 1988. *Jap. J. Swine Sci.* 25:56-60.  
 Kidder DE y Manner MJ. 1978. *Scientifica Bristol.* pp. 197.  
 Kolb AR y Luckey TD. 1972. *Nutr. Abstr. Rev.* 42:813-845.  
 Lawrence TLJ. 1970. *Anim. Prod.* 12:139-140.  
 Noblet J, Le Dividich J y Bikawa T. 1985. *J. Anim. Sci.* 61:452-459.  
 Oude G, Mentink A, Everts H, Smits B y Jongbbbed AW. 1986. *Rapport IVVO No.174 Lelystad* pp 81.  
 Owsley WF, Knabe DM y Tansksley Jr. TD. 1981. *J. Anim. Sci.* 52:557-566.  
 Roth FX y Kirchgessner M. 1984. *Z. Tierphysiol. Tierernahrung Fultermit.* 51:79-87.  
 Sauer WC, Mosenthin R, Ahrens F y Der Hartog LA. 1991. *J. Anim. Sci.* 69:4070-4077.  
 Siers DG. 1975. *J. Anim. Sci.* 41:1266.  
 Thorbek G. 1975. *Beretrn. Forsogslab.* 424 Kobenhavn pp 193.  
 Wenk C y Morel. 1985. *Proc. 3rd. Intern. Sem. Dig. Physiol. Pig. Kobenhavn* p. 396-399.

## ANEXO I

### Ejemplo de cálculo de la digestibilidad de una dieta por el método directo

Se utilizaron 6 cerdos machos castrados distribuidos al azar en tres tratamientos según un doble cuadrado latino 3x3 para estudiar el efecto de la inclusión de harina de *Leucaena leucocephala* en una dieta básica de miel B de caña y harina de soya. Las características de las dietas fue la siguiente, calculado como por ciento en base seca:

	A	B	C
Miel B de caña	66.1	60.6	55.6
Harina de soya	30.3	25.5	20.4
Harina de leucaena	--	10.5	20.5
Vitaminas y Minerales	3.6	3.4	3.5

Los animales fueron adaptados a las dietas durante 7 días alojados en corrales individuales en un establo abierto.

Después de ser pesados, el consumo de alimento se ajustó al 8% del peso metabólico. El 8º día, los animales fueron colocados en jaulas de metabolismo, y se les permitió adaptarse a las mismas durante 2 días adicionales.

A partir del 10º día y hasta el 14º, se registró cuantitativamente el consumo de alimento y la excreción fecal.

Los resultados del trabajo fueron los siguientes:

Materia Seca (g)	A	B	C
Consumo promedio diario	1210.5	1217.5	1231.7
Excreción fecal	109.4	193.3	234.1
Digestión	1101.1	1024.2	977.7
Digestibilidad %	91.0	83.9	79.4

## ANEXO II

### Ejemplo de cálculo de la digestibilidad de una dieta por el método indirecto

Se utilizaron 6 cerdos machos castrados distribuidos al azar en tres tratamientos según un doble cuadrado latino 3 x 3 para estudiar el efecto de la inclusión de harina de *Leucaena leucocephala* en una dieta básica de miel B de caña y harina de soya, descrita en el anexo 1.

Los cerdos se adaptaron a las dietas durante 7 días alojados en corrales individuales en un establo abierto. Al ser pesados el consumo diario de alimentos se ajustó al 8% del peso metabólico.

En el 8º día se tomó una muestra fecal por recogida directa en el recto. Para el cálculo de la digestibilidad de la materia seca, se determinó la concentración de ceniza ácido insoluble (CAI) en alimentos y excretas.

Los valores promedios por tratamientos aparecen a continuación:

<b>CAI (%)</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
En alimento	0.214	0.210	0.218
En excretas	3.887	2.245	1.320
Digestibilidad de MS (%)	94.4	90.5	83.5

### **ANEXO III**

Ejemplo de la digestibilidad de un ingrediente de la dieta

Ejemplo 1.

Se utilizaron 4 cerdos machos castrados a los que se les suministró una dieta básica de harina de maíz y de soya (1 kg/día) en la que se sustituyó el 40% de miel final. El cálculo de la digestibilidad de la miel se hizo por diferencia.

<b>Dieta básica (g/día)</b>	<b>1000</b>	<b>600</b>	<b>---</b>
<b>Miel final (g/día)</b>	<b>---</b>	<b>400</b>	<b>1000</b>
<b>Materia seca</b>	<b>90.61</b>	<b>88.93</b>	<b>86.0</b>
<b>Materia orgánica</b>	<b>92.35</b>	<b>90.93</b>	<b>88.4</b>
<b>Energía</b>	<b>91.34</b>	<b>88.81</b>	<b>83.9</b>
<b>Proteína</b>	<b>92.00</b>	<b>86.15</b>	<b>---</b>

### **Ejemplo 2**

Los resultados del experimento descrito en el anexo I fueron procesados de acuerdo con la técnica del análisis de regresión. La ecuación obtenida fue:

$$Y = 90.517 - 0.577x \quad (r, -0.826)$$

donde Y es la digestibilidad de la MS y x el por ciento de leucaena en la dieta. Cuando x=100:

$$Y = 90.517 - 57.7$$

$$Y = 32.8 \text{ (\%)}$$

## CAPITULO VI

**Digestión estomacal. El estómago como órgano reservorio de digesta. Factores que determinan la digestión en el estómago. Regulación de la evacuación gástrica. La hidrólisis gástrica. Regulación de la secreción gástrica. Métodos de estudio de la función gástrica.**

### Introducción

El estómago del cerdo es un reservorio monocavitario cuyas funciones fundamentales son actuar como órgano de depósito de ingesta que gradualmente va siendo evacuada hacia el duodeno y el resto del intestino delgado, y además, como lugar de mezcla y solubilización del alimento ingerido. Las características de la digestión estomacal ha sido tema de revisión por Laplace (1982) y continua siendo objeto de estudio, sobre todo en el animal lactante (ver Cranwell y Moughan 1988). A continuación se pasará revista a la digestión estomacal en el cerdo teniendo en cuenta los factores que determinan la función gástrica.

### El estómago como órgano reservorio de digesta

Está bien establecido que una de las principales funciones del estómago es el depositar la ingesta para su gradual evacuación hacia el duodeno. Sin embargo no debe asumirse que esta función determine una permanencia larga del contenido estomacal en esa parte del tracto gastrointestinal. Por ejemplo Kesting (1985) propuso que el tiempo de retención de digesta en el estómago es como promedio unas 5 horas (alrededor del 8.3% del total en todo el tracto), después de revisar los datos de diferentes autores (tabla 6.1).

**Tabla 6.1 Retención parcial de digesta en diferentes secciones del tracto gastrointestinal del cerdo.**

Sección del tracto	Tiempo en horas	Por ciento del tiempo total	Velocidad de tránsito, cm/min
Estómago	5 (4 -6 )	8.3	---
Intestino delgado	4 (3 -5 )	6.7	8.0
Intestino grueso	51 (36-66)	85.0	0.2
Todo el tracto	60 (45-75)	100.0	0.7

FUENTE: Kesting (1985).

A pesar de que el alimento se deposita en el estómago durante cierto tiempo, este no es lo suficientemente largo como para influir en el tiempo de retención de digesta en el tracto gastrointestinal, y una evidencia experimental de esto fue proporcionada por Cunningham (1967) quien hizo estudios de tránsito en cerdos gastrectomizados. Cunningham (1967) encontró que la gastrectomía determinaba en los cerdos un descenso evidente en los índices digestivos. Por otra parte este investigador sí halló un efecto discordante en la digestibilidad y el tránsito de digesta de las dietas con un alto contenido de aceite de maíz (15%) en comparación con una dieta típica de cebada (tabla 6.2) puesto que el tránsito de digesta se aceleró ligeramente.

Este experimento pudiera ser un ejemplo de que no siempre se puede encontrar una interdependencia evidente entre la digestibilidad de la dieta y su tránsito por el tracto gastrointestinal. A ello pudiera haber contribuido el pequeño número de animales utilizados en el estudio y a la variabilidad entre los mismos.

**Tabla 6.2 Digestibilidad y tránsito de digesta en cerdos gastrectomizados.**

<b>Dieta básica de cebada</b>	<b>Animales controles</b>	<b>Animales gastrectomizados</b>
Digestibilidad (%)		
MS	81.1	76.3
N	83.3	69.3
Velocidad de paso (h) <sup>1</sup>	24.0	26.8
Dieta básica + 15% de aceite de maíz		
Digestibilidad (% MS)	84.6	75.9
N	86.5	72.8
Grasa cruda	88.0	64.5
Velocidad de paso (h)	46.7	22.3

<sup>1</sup> Aparición del marcador.

FUENTE: Cunningham (1967).

Se han estudiado diferentes factores que pudieran modificar el tiempo de retención de la digesta en el estómago del cerdo, o su recíproco, la velocidad de evacuación de la digesta. Esto puede tener varias consecuencias de naturaleza práctica; en primer lugar, sería útil manipular la velocidad de absorción intestinal de los nutrientes a partir de un cambio en la emisión estomacal de su contenido. También sería útil establecer cómo es la interdependencia entre la evacuación estomacal y el consumo voluntario de alimento, medido por el tamaño de ración. Por otra parte, en el cerdo recién nacido y en el lactante, la digestión gástrica es muy importante, por lo que es valioso conocer como se le puede hacer más eficiente para disminuir los riesgos de muerte en los cerditos al nacer y al destetarse.

Los estudios relacionados con la evacuación gástrica de digesta se iniciaron con un acopio considerable de datos experimentales que describían el patrón de esa evacuación. Entre las observaciones más interesantes se hallaron los relativos a la influencia del tamaño de ración; como ilustración Cuber y Laplace (1979) encontraron que la cantidad de materia seca evacuada por el estómago era inversamente proporcional al tamaño de ración (tabla 6.3).

**Tabla 6.3 Tamaño de ración y evacuación gastroduodenal en el cerdo.**

	<b>Tamaño de ración (g)</b>		
	<b>880</b>	<b>1320</b>	<b>1760</b>
Tiempo de postingestión (h) <sup>1</sup>			
0.5	22.1	21.5	22.0
2.0	35.9	35.0	37.6
7.0	65.0	56.0	49.7

<sup>1</sup> Evacuación de MS, % del consumo.

FUENTE: Cuber y Laplace (1979).

Con el empleo de la misma técnica de canulación reentrante en el duodeno, intratorácica y extrapleurales los investigadores de La Habana hallaron un efecto cualitativamente igual (tabla 6.4), pero también encontraron que con una misma dieta, una disminución del tamaño de partícula acelera la evacuación gastroduodenal, y por otra parte que una dieta líquida como la de miel final es retenida durante menos tiempo en el estómago que otra sólida. En este último caso, el tamaño de la ración ejerce una influencia considerablemente menor en la evacuación gastroduodenal.

**Tabla 6.4 Tamaño de ración y evacuación gastroduodenal en cerdos alimentados con maíz o miel final.**

Tamaño de ración (g MS/kg PC)	Tipo de dieta		
	Maíz molido		Miel final
	Grueso	Fino	
9.5	42.7 <sup>1</sup>		
10.0		8.6	6.6
14.0			10.2
14.2	44.3		
15.0		19.2	
18.0			9.9
19.0	55.5		
20.0		36.7	
Referencias:	Ly y Pérez (1979)	Pérez et al (1978)	Pérez y Ly (1979)

<sup>1</sup> Evacuación de MS, % del consumo, 6 h postingestión.

A este respecto un experimento ejecutado por Clemens et al (1975) demostró que existe un vaciado preferencial de las distintas fracciones de la digesta estomacal, puesto que a menor tamaño de partícula, menor es su retención en el estómago del animal (tabla 6.5).

**Tabla 6.5 Tránsito de las fases líquidas y sólidas de la digesta por el estómago del cerdo.**

	Tipo de marcador			
	Fase líquida	Fase sólida		
Retención (% de consumo) <sup>1</sup>	<5	28 mm	1 cm	2 cm

<sup>1</sup> 12 h postingestión.

FUENTE: Clemens et al (1975).

Como consecuencia importante de este tipo de vaciado preferencial de la fase líquida, de la digesta se pudiera deducir que el estómago se encarga de retener las partículas del alimento de mayor talla o menos soluble, lo que probablemente está muy relacionado con su carácter más indigestible. Esta hipótesis es compatible con el hallazgo de Sambrook (1979), quien encontró una retención gástrica prolongada de la fracción fibrosa del alimento.

Low et al (1985) hicieron estudios a más corto plazo (4 horas) sobre la influencia del nivel de consumo de alimento y además de agua en el vaciado estomacal de cerdos provistos de una cánula simple colocada en la región fúndica del fúndica del estómago.

Estos investigadores hallaron un efecto marcado en las dos primeras horas después de la comida cuando variaron el tamaño de la ración, aunque ese mismo efecto ya no pudo ser observado 3 y 4 horas después de comer (tabla 6.6).

**Tabla 6.6 Nivel de consumo y retención gástrica de digesta (en %) en cerdos en crecimiento.**

INDICE	Nivel de consumo (g)	Horas después de comer			
		1	2	3	4
MS	479	69	48	37	34
	561	66	54	40	48
	732	60	51	46	43
	822	50	49	48	41
N	13.8	85	62	41	30
	16.2	66	51	35	39
	21.1	68	52	42	38
	23.9	64	43	44	34

FUENTE: Low et al (1985).

La prueba que Low et al (1985) hicieron sobre el mismo tema pero variando el nivel de consumo de agua también tendió a confirmar los estudios anteriores de que la fracción líquida es evacuada primero por el estómago. Con ellas, las sustancias solubles y más digestibles eventualmente son las que por lo tanto pasan preferencialmente al intestino delgado. Datos de este experimento aparecen en la tabla 6.7.

**Tabla 6.7 Influencia del cambio en la proporción dieta:agua en la retención aparente de digesta (en %) en cerdos.**

INDICE	Dieta:Agua	Horas después de comer			
		1	2	3	4
MS	1:1.75	57	42	42	37
	1:2.50	64	44	43	43
	1:3.25	56	52	47	39
N	1:1.75	59	46	44	41
	1:2.50	59	40	32	34
	1:3.25	51	38	27	26

FUENTE: Low et al (1985)

Además de los experimentos en los que se ha estudiado la capacidad de retención gástrica de digesta más bien desde el punto físico, tales como volumen de ingesta, tamaño de partícula y volumen de agua consumida, se han hecho otros trabajos en los que se han realizado observaciones relacionadas con el tipo de nutriente incluido en el alimento. Tal vez uno de los más conocidos es el de Reed y Kidder (1972) quienes estudiaron el vaciado estomacal de dietas líquidas que contenían monosacáridos. Reed y Kidder (1972) encontraron que a medida que aumentaba la concentración de los monosacáridos en la ingesta, disminuía la evacuación estomacal.

Por otra parte Holmes et al (1974) experimentaron con cerdos provistos de cánulas reentrantes en el duodeno, instaladas antes del conducto pancreático. Holmes et al (1974) hallaron que la digestión en el estómago podía hacer una contribución importante a la hidrólisis del almidón en dietas de maíz/soya, y por otra parte sugirieron que la preservación del maíz húmedo con ácidos orgánicos incrementaba la acidez total de la dieta y esto tendía a demorar la evacuación estomacal.

Aún cuando se utilizaron niveles relativamente bajos (4%) de distintas fuentes de fibra dietética, Rainbird y Low (1986) encontraron en algunos casos un incremento notable del semitiempo de evacuación estomacal para la digesta de dietas de goma arábiga y carboximetilcelulosa en el caso de la digesta fresca, para la MS en otra dieta de salvado de trigo. En el semitiempo de evacuación estomacal del nitrógeno, este pudo constatarse en la dieta de goma arábiga (tabla 6.8). Estos tipos

de fibra viscosa pueden reducir la evacuación estomacal de agua pero no de MS, lo que también puede entenderse como que en el estómago las fibras viscosas no previenen la separación de las fases líquidas y sólidas de la digesta como puede ocurrir en otras zonas del tracto gastrointestinal.

**Tabla 6.8 Semitiempo de evacuación estomacal en cerdos alimentados con bajos niveles de distintos tipos de fibra.**

Fuente de fibra <sup>1</sup>	Semitiempo de evacuación estomacal (min)			
	Digesta fresca	MS	N	Glucosa total
Dieta semisintética +	180	239	180	249
Pectina	216	192	199	171
Goma arábica	350	210	219	193
Salvado de trigo	207	349	190	258
Carboximetil celulosa	280	177	185	181

<sup>1</sup> 4% en la dieta.

FUENTE: Rainbird y Low (1986).

La fibra dietética sí parece permanecer un tiempo mayor de residencia en el estómago del cerdo, y eso puede explicar los datos negativos de digestibilidad de distintas fracciones de la pared celular que hallaron Keys y DeBarthe (1974) en cerdos provistos de una cánula T en el duodeno, a 13 cm del píloro (tabla 6.9). Esta evidencia experimental ha sido confirmada reiteradamente (Ver Kass et al 1980).

**Tabla 6.9 Digestibilidad duodenal (%) de componentes de fracciones de la pared celular en cerdos alimentados con altos niveles de distintos tipos de fuente de fibra.**

	Fuente de fibra (30% de la dieta)			
	Alfalfa	Follaje de sorgo	Hierba texana	Bermuda de costa
Materia seca	-8.12	-13.12	- 9.9	-15.90
Pared celular	-4.69	6.43	- 2.33	3.84
Celulosa	-2.93	8.65	- 4.46	9.66
Hemicelulosa	17.19	10.11	0.93	19.85

FUENTE: Keys y DeBarthe (1974).

Low et al (1985) han estudiado qué consecuencias originan el vaciado gástrico por causa de la adición de distintas fuentes energéticas a la dieta. En estos experimentos de Low et al (1985) se usaron cerdos provistos de una cánula gástrica. Los animales fueron alimentados con una dieta básica de cebada y harina de soya como control, o bien mezclada 9:1 con celulosa o aceite de maíz o bien mezclada 4:1 con sacarosa. Low et al (1985) no hallaron efecto evidente de tratamiento en las 4 horas en que hicieron mediciones de recuperación de ingesta mediante la determinación de MS y N salvo en la segunda hora, en que el aceite de maíz determinó una mayor retención de digesta seca, mientras que en el caso de la retención de N, ésta pareció mayor para ese mismo tratamiento y para la sacarosa.

Es posible que no se hallara una respuesta experimental más precisa debido a que los niveles de inclusión probados fueron más bien bajos y a que se sabe que existe un proceso de solubilización del alimento en el estómago, y además, a que los volúmenes de materiales en el estómago suelen ser positivos debido a la incorporación a la ingesta de la secreción gástrica, muy rica en nitrógeno y sales minerales. Los datos de Low et al (1985) se presentan en la tabla 6.10.

**Tabla 6.10 Efecto de celulosa, maíz o sacarosa en la retención aparente de la digesta (en %) en cerdos en crecimiento.**

INDICE	DIETA	Horas después de comer			
		1	2	3	4
MS	Cebada/Soya +	66	51	48	40
	Celulosa	66	49	46	41
	Aceite de maíz	67	67	43	43
	Sacarosa	55	52	32	30
N	Cebada/Soya +	70	52	44	37
	Celulosa	68	49	44	37
	Aceite de maíz	73	66	44	41
	Sacarosa	69	65	36	35

FUENTE: Low et al (1985).

### Regulación de la evacuación gástrica

Laplace (1982) ha indicado que con el consumo del alimento, la consecuencia inmediata para el cerdo consiste en que el estómago se llena y así aumenta la presión intragástrica, independientemente de la naturaleza fisicoquímica del alimento. Esta presión se mantiene moderada debido a la facultad estomacal de acomodo pasivo y activo de la ingesta.

El aumento de la presión intragástrica es la causa que decide la evacuación de la fase líquida y de la suspensión de partículas finas. En la descripción de este proceso, Laplace (1982) señaló que la presencia de sólidos en la comida estimula la actividad física del antro pilórico; esta actividad antral es directamente proporcional al incremento en tamaño de las partículas, y garantiza su trituración y abrasamiento por propulsión y retropropulsión, de forma tal que como consecuencia, estas partículas reducen su tamaño y se licúan con ayuda del ácido clorhídrico y las pepsinas.

Cuando el volumen de la ingesta sobrepasa la capacidad de acomodo del estómago, tiene lugar una evacuación muy rápida de alimento, cosa que ocurre durante una fase inicial transitoria (Laplace y Tomassone 1970; Cuber y Laplace 1979), que se prolonga en función del aumento del tamaño de ración (Cuber y Laplace 1979).

El ingreso y el egreso del alimento en el estómago del cerdo está sujeto a otros dos procesos, el del consumo voluntario de alimento por parte del animal y el de absorción intestinal de los productos finales de la digestión. Para una mayor comprensión de esta cadena de eventos, se han llevado a cabo un considerable número de experimentos, de los cuales se pudiera seleccionar como representativo de los mismos el de Gregory et al (1989). Estos investigadores hallaron que la infusión a varias velocidades de lípidos o glucosa desde el comienzo de la comida o 30 minutos antes, hasta que los cerdos terminaron de comer determinó una inhibición de la evacuación gástrica de la MS y de la fase líquida, de una forma cualitativamente similar pero cuantitativamente distinta. Con ambos tipos de sustancias la velocidad de evacuación estomacal de la MS y de la fase líquida se redujo progresivamente con las preinfusiones a 0.10, 20 y 30 min antes de empezar a comer.

En la tabla 6.11 puede observarse que en la infusión duodenal de lípidos a razón de 6 ml/min, la evacuación estomacal de MS se inhibió más que la de la fase líquida. La cantidad de MS evacuada disminuyó progresivamente con la duración de la preinfusión desde 0 min (40% de inhibición) hasta 30 min (67% de inhibición). En contraste, la cantidad de líquido evacuada disminuyó pero sin influencia de la duración de la preinfusión (21-22% de inhibición). Ninguna de las infusiones influyó en la duración de la comida.

**Tabla 6.11 Influencia de la duración de la preinfusión duodenal de lípidos en la evacuación estomacal de sólidos y líquidos.**

	Duración de la preinfusión (min)				
	Control	0	10	20	30
Duración de la comida (min)	130	14.8	14.7	14.4	15.2
Vaciado estomacal de sólidos	52	31	27	21	17
g MS	4.0	2.1	1.9	1.6	1.1
g MS/min					
Vaciado estomacal de líquidos					
ml	507	412	387	407	300
ml/min	39	30	27	30	23
Flujo duodenal total de energía (KJ/min)	62	68	65	63	56

FUENTE: Gregory et al (1989).

La infusión duodenal de glucosa (40%, 8 ml/min) tuvo efectos prácticamente similares a los de la infusión de lípidos en la evacuación estomacal (tabla 6.7). La evacuación de MS gástrica se inhibió con las infusiones de glucosa a partir del comienzo de la comida, lo que no ocurrió con la fase líquida. Por otra parte la infusión de glucosa en el minuto 0 inhibió el ritmo de vaciado estomacal de manera que el flujo duodenal de energía (ED vaciado + glucosa infundida) fue igual al control. Sin embargo al incrementar el tiempo de preinfusión originó una reducción progresiva de ese flujo durante la comida.

**Tabla 6.12 Influencia de la duración de la preinfusión duodenal de glucosa en la evacuación estomacal de sólidos y líquidos.**

	Duración de la preinfusión (min)				
	Control	0	10	20	30
Duración de la comida (min)	14.0	14.8	12.9	14.1	13.1
Vaciado estomacal de sólidos					
g MS	69	41	23	16	12
g MS/min	5.1	2.8	1.8	1.1	0.9
Vaciado estomacal de líquidos					
ml	556	521	386	392	347
ml/min	41	38	31	29	27
Flujo duodenal total de energía (KJ/min)	77	79	64	53	50

FUENTE: Gregory et al (1989).

Gregory et al (1989) han sugerido que los cambios en el patrón de evacuación gástrica determinado por la infusión duodenal de lípidos y glucosa, equivalen a los que ocurren en el consumo voluntario con el mismo tipo de infusiones, por lo que estos resultados refuerzan la hipótesis de que el control de la evacuación gástrica es un aspecto importante en la regulación a corto plazo del consumo voluntario en el cerdo.

## La hidrólisis gástrica

Es sabido que el estómago segrega en el lumen del órgano una mezcla compleja que procede de varios tipos de células glandulares y mucosas. En esta mezcla figuran electrolitos, enzimas, sustancias mucosas o procedentes del torrente sanguíneo, y otras biológicamente activas tales como el factor intrínseco.

Por otra parte el estómago también segrega en la sangre, la gastrina, un péptido regulador. El jugo gástrico se caracteriza primordialmente por dos componentes, el ácido, que contiene ácido clorhídrico y agua, y que es producido en las células parietales, y el alcalino, que se segrega por las células pépticas y que a su vez contiene electrolitos tales como cloruro, carbonato, sodio y potasio segregados por las glándulas del cardias, que también están responsabilizadas de la producción del mucus.

La secreción del ácido clorhídrico tiene varias funciones, tales como la activación del pepsinógeno en pepsina y el mantenimiento de valores bajos de pH intragástrico, lo que es fundamental para la actividad óptima de la pepsina. También este tipo de secreción acídica tiene por fin la digestión química y el estímulo de la producción duodenal de colecistoquinina y secretina.

El jugo gástrico contiene varias pepsinas y la quimosina, proteasas que comienzan la digestión de las proteínas. Estas enzimas se sintetizan y segregan en forma de proenzimas que se convierten en enzimas activas mediante una proteólisis limitada que separa una fracción de la porción N-terminal de la cadena peptídica. Este proceso es gobernado por el ácido clorhídrico y es muy rápida a pH 2; a pH 4 procede más lentamente por autocatálisis debida por la pepsina que se forma.

En el cerdo se han encontrado entre tres (Foltmann 1986) o cuatro tipos de pepsinas (Vonk y Western 1984), entre los que la pepsina A (EC 3.4.23.1) es el mayor constituyente con un pH óptimo igual a 2; la pepsina B está presente en pequeñas proporciones y su acción no se conoce bien. La gastricsina o pepsina C (EC 3.4.23.3) tiene un pH óptimo entre 3 y 4.

Los cerditos cuentan también con la quimosina o EC 3.4.23.4 (Foltman et al 1981) con el mismo pH óptimo de la pepsina C. Sin embargo las proteasas gástricas son activas en un rango grande de pH y son capaces de coagular la leche a pH 6.5. Se conoce muy bien la acción específica de la pepsina; esta es una endopeptidasa que rompe el enlace peptídico entre L-aminoácidos solamente. La hidrólisis más rápida tiene lugar en los enlaces que corresponden a aminoácidos aromáticos: la tirosina y la fenilalanina. La velocidad de hidrólisis se hace muy lenta cuando el enlace corresponde al de valina y glicina, tirosina y cistina, así como tirosina y serina. Los glicilpéptidos son muy resistentes a la acción de la pepsina. Algunas características de la pepsina A y de la quimosina aparecen en la tabla 6.13.

**Tabla 6.13 Características de la pepsina A y de la quimosina.**

	<b>Pepsina A</b>	<b>Quimosina</b>
pH óptimo	2.0	3.5
Actividad proteolítica relativa al pH óptimo	100	2
Actividad de coagulación de la leche relativa		
Leche bovina	100	58
Leche porcina	72 (2.7x9) <sup>1</sup>	100(2.4x)

<sup>1</sup> Veces en actividad mayor en la leche porcina que en la bovina.

FUENTE: Foltman (1981 a,b); Foltman et al (1981).

Las secreciones gástricas cambian con la edad. Por ejemplo, la secreción del ácido clorhídrico puede comenzar con el nacimiento, pero puede demorarse debido al desarrollo de fermentaciones lácticas, las cuales están influenciadas por el ambiente en el nacimiento (Cranwell et al 1976). Por otra parte el volumen de la secreción gástrica aumenta rápidamente durante las primeras semanas de vida y después más lentamente de acuerdo con Noakes (1971).

Es interesante señalar que en el cerdito lactante, Cranwell (1985) halló que cuando el animal tenía acceso a alimento sólido, la secreción máxima de ácido clorhídrico fue mayor hasta los 14 kg de peso corporal (tabla 6.14). Estos datos indican que el suministro de un alimento sólido antes del destete, prepara mejor al animal para este estrés y además, que a medida que el animal crece, su capacidad secretora gástrica se mantiene correlacionada con el peso corporal.

**Tabla 6.14 Influencia del suministro de alimento sólido en la máxima secreción de ácido (y, mmol/h) en el estómago de cerditos lactantes (x, kg de peso corporal).**

TRATAMIENTO	ECUACION RESPUESTA	r <sup>2</sup>
Sin acceso a alimento sólido	$y = 0.77x - 0.06$	0.81
Con acceso a alimento sólido	$y = 1.21x - 0.83$	0.76

FUENTE: Cranwell (1985).

La quimosina es la proteasa gástrica predominante en el nacimiento y después su actividad decrece hasta desaparecer 4 y 5 semanas después del nacimiento (Foltmann et al 1981), mientras que lo contrario ocurre con la pepsina.

La digestión gástrica junto con la pancreática, ha sido también estudiada en animales en crecimiento y así Zebrowska et al (1983) han brindado datos sobre la actividad de la pepsina gástrica medida en la digesta evacuada por el estómago, así como del volumen de la secreción estomacal, junto con la de saliva. Estos datos que aparecen en la tabla 6.15, indican que puede haber efecto dietético en las medidas hechas, aunque no tienen una explicación precisa.

**Tabla 6.15 Influencia dietética en la actividad de pepsina y volumen de secreción gástrica en cerdos en crecimiento provistos de cámulas reentrantes en el duodeno.**

	Almidón y caseína	Cebada y soya
Actividad de pepsina (unidades/24 h)	760 449	1 466 571
Secreción gástrica (kg/24 h)	4	8

FUENTE: Zebrowska et al (1983).

### Regulación de la secreción gástrica

La regulación de la secreción gástrica (Cranwell 1987) es compleja y en la misma las señales químicas que median provienen de tres rutas principales: neurocrinas, endocrinas y paracrinas (Sanders y Soll 1986). Los péptidos endocrinos involucrados en el control de la secreción gástrica son la gastrina (estimulador) y la somatostatina (inhibidor), aunque este último puede actuar como transmisor paracrino y posiblemente neurocrino.

Otra sustancia paracrino importante lo es la histamina que es liberada por células de la lámina propia; la histamina es un estimulador potente de las células parietales. La acetil colina es el transmisor más potente, y aparte de su acción estimuladora en las células parietales, también estimula la secreción de las enzimas proteolíticas, el bicarbonato y el mucus. Los efectos neurocrinos inhibitorios son indirectos y ocurren a través de los agentes beta-adrenérgicos, los cuales estimulan la liberación de

somatostatina e inhiben la de histamina. Los mecanismos de regulación de la secreción gástrica están bastante bien definidos en el cerdo (Holts 1985).

Por otra parte como han señalado Rerat y Corring (1991) cada una de las fases de la digestión gástrica implica el desarrollo de una serie de eventos orgánicamente encadenados: durante la fase cefálica, los mecanismos neurocrinos estimulan la secreción de ácido y pepsina con sólo percibir el alimento. Después, la llegada del alimento al estómago induce la fase gástrica de la secreción, que es estimulada por la distensión del órgano, y principalmente por el antro pilórico y el contenido proteico de la ingesta.

La secreción se estimula por medio de la excitación de las fibras parasimpáticas y por la liberación de la gastrina y también por la inhibición de la somatostatina. El siguiente paso es la llegada de digesta al duodeno, lo que por la vía del estímulo fresco (distensión) y químico (ácido clorhídrico, nutrientes proteicos) inducen la fase intestinal, que está caracterizada por la inhibición de la secreción gástrica, en lo fundamental el componente ácido, debido a la secreción de la mucosa duodenal de varios péptidos reguladores, tales como el polipeptido inhibidor de gastrina, la neurotensina y la secretina entre otros.

### **Métodos de estudio de la función gástrica**

Los métodos de estudio de la función gástrica que más directamente pudieran incidir en la evaluación digestiva de los distintos componentes de la dieta podrían implicar las técnicas quirúrgicas o de preparación del animal, los métodos de recolección y medición de la digesta, los procedimientos mayormente de análisis químicos y también el uso de métodos de descripción matemática de muchos de los resultados. Estos aspectos han sido detalladamente discutidos por Laplace (1972) y aquí solo se comentaran algunos relacionados con la función gástrica.

Debido a que el estómago no es un órgano de absorción, sino de preparación de la ingesta para este fin, los estudios de evacuación estomacal que más utilidad parecen tener son los relacionados con los que investigan los aspectos de consumo voluntario de alimento a corto plazo, o los que se vinculan con la absorción en el intestino delgado. Así es que se ha vuelto, de técnicas más o menos complicadas de canulación reentrante en el duodeno próximo, a la instalación de cánulas simples en el fundus. Por otra parte, los experimentos diseñados para conocer la evolución de la secreción gástrica pudieran tener utilidad en campos tan distintos como los de la etiología de las úlceras en la parte esofágica del estómago y los de la preparación del cerdito lactante para su destete.

Los métodos de descripción matemática de la evacuación estomacal de digesta parecen ser tantas como trabajos publicados. Las ecuaciones más complicadas y con mayor vocación de ajuste a la fisiología de la digestión estomacal son los polinomios propuestos por Laplace y Tomassone (1970), pero la evacuación gástrica también ha sido definida por semitiempos de evacuación (Low et al 1985), ecuaciones exponenciales (Ly y Pérez 1979; Pérez y Ly 1979) o lineales (Ochia 1973).

## REFERENCIAS

- Cuber JC y Laplace JP. 1979. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.* 19(38):899-905
- Cunningham HM. 1967. *J. Animal Sci.* 26:500-503.
- Clemens ET, Stevens OE y Southworth M. 1975. *J. Nutr.* 105:759
- Cranwell PD, Noakes ED y Hill KJ. 1976. *Brit. J. Nutr.* 36:71-86
- Cranwell PD. 1985. *Beretrn. Sta. Hudybrugst.* no. 580. Kobenhavn p 116-119.
- Cranwell PD. 1987. *Pros ANZAAS Congr. Palmerston North* pp 6.
- Cranwell PD y Moughan RJ. 1989. *Australasian Pig Sci. Assoc. Conf. Albury.* p 140-159.
- Foltman B. 1981a. *Essays in Biochemistry* 17:52-84.
- Foltman B. 1981b. *Nutr. Milk Dacry J.* 35:223-231/
- Foltman B., Jensen AL, Lonblad P., Smidt E y Axelsen NH. 1981. *Comp. Bioch. Physiol* 68 B:9-13.
- Foltman B. 1986. Elsevier. Amsterdam p. 491-505.
- Gregory PC, McFadyen M y Rayner DV. 1989. *Quat. J. Exp. Physiol.* 74:109-119.
- Holmes JHG, Bayley HS y Horney FD. 1974. *Brit. J. Nutr.* 32:639-646.
- Holts JJ. 1985. *Beretrn. Sta. Husdybrugsf. No. 588.* Kobenhavn p 17-34.
- Kass ML, Van Soest PJ, Pond WG, Lewis B y McDowell RE. 1980. *J. Anim. Sci.* 50:175-191.
- Kesting V. 1985. *Fortschrittber Landwirtschaft. Nahurungsguterwirtsch.* 23:1-80.
- Keys Jr J D y DeBarthe J V. 1974. *J. Anim. Sci.* 39:53-56.
- Laplace J P y Tomassone R. 1970, *Ann. Zootech.* 19:303-332.
- Laplace J P. 1972. *Ann. Zootech.* 21:83-105
- Laplace J P. 1982. *Les Colloques de l'INRA Jouy-en-Josas* p 29-44.
- Low A G, Pittman R J y Elliott R J. 1985. *Brit. J. Nutr.* 54:437-447.
- Ly J y Pérez A. 1979. *Cien. Tec. Agric. Ganado Porcino Suppl* 73-94.
- Noakes DE. 1971. Tesis. Univ. Londres.
- Ochia B A. 1973. *J. Physiol* 233:467-480.
- Pérez A, Maylin A y Ly J. 1978. *Cien. Tec. Agric. Ganado Porcino* 1(4):15-29.
- Pérez A y Ly J. 1979. *Cien. Tec. Agric. Ganado Porcino Suppl* 73-94.
- Rainbird AL y Low AG. 1986. *Brit. J. Nutr.* 55:111-121.
- Reed JH y Kidder DE. 1972. *Quat. J. Exp. Physiol.* 57:30-36.
- Rerat A. y Corring T. 1991. *Dig. Physiol Pig. Proc. 5th Intern. Symp. Dig. Physiol Pig (ed) Wageningen* p 5-30.
- Sanders MJ y Soll AH 1986. *Ann. Rev. Physiol.* 48:89-101.
- Sambrook IE. 1979. *Brit. J. Nutr.* 42:279-287.
- Vonk HJ y Western JRA. 1984. *Comp. Bioch. Physiol. Enzim. Digestion. Acad. Press. London* p. 95-133.
- Zebrowska T, Low AG y Zebrowska H. 1983. *Brit. J. Nutr.* 49:401-410.

## CAPITULO VII

**Digestión en el intestino delgado. Digestión luminal y de membrana. El páncreas exocrino. Secreción biliar y circulación enterohepática. Factores que influyen en la digestión en el intestino delgado. Concepto de digestibilidad ileal. Métodos de estudio de la digestión en el intestino delgado.**

### Introducción

En una revisión sobre la digestión en el intestino delgado del cerdo, Darcy (1982) hizo hincapié en que en esta parte del tracto gastrointestinal tienen lugar los principales procesos digestivos que contribuyen a la adquisición por el animal de los nutrientes que utiliza para su mantenimiento y crecimiento. Estos procesos son el tránsito de la digesta, la hidrólisis enzimática y la absorción de los productos de la hidrólisis. Por lo tanto, de acuerdo con Darcy (1982) de la interrelación entre estos procesos tiene lugar una digestibilidad más o menos buena.

El tiempo de residencia de la digesta en el intestino delgado es más bien corto, como se ha visto ya (CAPITULO IV), pero la digestión es efectiva gracias a un equipo enzimático adaptable y a una absorción duodenal y en el yeyuno muy eficiente.

### Digestión luminal y de membrana

La digesta gástrica que llega al duodeno sufre un ataque enzimático que tiene la característica de comenzar en la luz del órgano, debido a las secreciones pancreática y biliar, y termina en la mucosa del órgano, sitio en el que se hayan localizadas diferentes disacaridasas y dipeptidasas, por lo que puede entenderse el fenómeno de la digestión en el intestino delgado como uno con dos componentes que necesariamente se suceden en el tiempo: primero se desarrolla la digestión luminal, que comienza en el duodeno y en el que participan activamente el páncreas exocrino y la secreción biliar, y en segundo término sucede la digestión de membrana, pues tiene lugar en la mucosa intestinal. A continuación se pasará revista a las características de la secreción exocrina del páncreas y de la bilis, mientras que los aspectos de la digestión de membrana se tratarán en el CAPITULO X.

### El páncreas exocrino

Es evidente que el páncreas exocrino desempeña un papel que es fundamental en la digestión, tanto en el cerdo como en otros animales. Esta glándula sintetiza y exporta las enzimas necesarias para la hidrólisis de tres tipos de nutrientes contenidos en la dieta: los lípidos, las proteínas y los carbohidratos. Estas hidrolasas actúan en el lumen duodenal al ser vertido allí el jugo pancreático. El contenido en aniones del mismo le proporciona una propiedad amortiguadora tal que puede neutralizar el ácido clorhídrico proveniente del estómago.

Las enzimas proteolíticas pancreáticas se segregan en forma inactiva en el lumen intestinal (tripsinógeno, quimotripsinógeno, procarboxipeptidasas A y B y proelastasa). El tripsinógeno es activado por la enteroquinasa intestinal y ya como tripsina, activa a su vez las otras proenzimas. Como se sabe la tripsina, la quimotripsina y la elastasa son endopeptidasas, mientras que la carboxipeptidasas A y B son exopeptidasas, lo que significa que estas proteasas rompen los enlaces peptídicos internos o terminal de las moléculas de proteínas. La quimotripsina y la carboxipeptidasa A hidrolizan enlaces específicos junto a los L- aminoácidos aromáticos tirosina, triptófano y fenilalanina, mientras que la tripsina y la carboxipeptidasa B cortan enlaces específicos junto a los L- aminoácidos básicos arginina y lisina. Las proteasas menos específicas son la elatasa y la quimotripsina, y por eso se dice que desempeñan un papel preponderante en la proteólisis, aunque para que ésta sea óptima, todas las enzimas deberán actuar concertadamente. Otras enzimas proteolíticas presentes en el jugo pancreático, las colagenasas y nucleasas, junto con la lipasa y la amilasa, no son exportadas al lumen duodenal en forma inactiva. El páncreas puede adaptarse a las variaciones en la

composición del alimento suministrado al cerdo; esta adaptación tiene lugar mediante cierta regulación de la secreción pancreática. A continuación se pasará revista a los aspectos fundamentales de la función pancreática, que se ha estudiado profusamente a partir de los primeros trabajos de Pekas et al (1966), Hickson (1970 a, b) y Corring et al (1972) y Corring y Saucier (1972).

### Ontogénesis de la secreción pancreática

Según una recopilación de datos hecha por Cranwell y Moughan (1989) pudiera decirse que la cantidad de proteasas pancreáticas permanece relativamente constante durante los primeros 4 a 5 semanas de vida del cerdito (tabla 7.1). En las dos semanas subsiguientes se incrementa la cantidad relativa de estas enzimas, y sobre todo de la tripsina. En lo que respecta a la quimotripsina el incremento se debería más bien a un aumento en el tamaño del páncreas, porque la concentración de tripsina sí aumenta en el tejido. El incremento notable en la cantidad de amilasa pancreática se debe en lo esencial al bajo monto de esta enzima al nacimiento.

Aún así, en estudios con cerditos destetados de 4 a 7 semanas de edad, Aumaitre (1972) halló que la concentración de amilasa en el jugo pancreático creció de 2 a 2.5 veces cinco días después de incrementar el almidón dietético. Por otra parte también Corring y Chayvialle (1987) observaron que al triplicar el almidón dietético elevó en 2-3 veces la secreción de amilasa. La lipasa pancreática crece evidentemente durante las 4 primeras semanas de vida del animal y es evidente que no es por un efecto de edad puesto que la leche materna es muy grasa y en ese mismo período de tiempo se eleva la producción materna de leche.

Por otra parte Lindemann et al (1986) destetaron los cerditos a las 4 semanas de edad con una dieta desprovista de grasa lo que determinó una caída en la lipasa pancreática, mientras que Corring et al (1978) mantuvieron los cerditos lactando más allá de las 4 semanas y así se mantuvo relativamente alta esta hidrolasa. Más aún se ha demostrado por Corring y Chayvialle (1987) que si se aumentaba en 7 veces el consumo de lípidos, se elevaba la secreción pancreática de lipasa en 1.8 veces.

**Tabla 7.1 Cantidades relativas de enzimas pancreáticas durante las primeras 8 semanas de vida del cerdito<sup>1</sup>.**

Enzimas	Edad en semanas						Referencias
	0	1	2	4	6	8	
Tripsina	1.0	1.1	0.5	1.5	4.5	11.9	Corring et al
	1.0	---	0.5	1.1	10.7	14.3	(1978)
	1.0	1.0	1.1	2.3	4.0	---	Owsley et al (1986) Lindemann et al (1986)
Quimotripsina	1.0	1.6	1.1	1.5	1.9	1.8	Corring et al
	1.0	---	1.0	1.5	2.3	2.3	(1978)
	1.0	2.3	2.5	3.3	3.1	---	Owsley et al (1986) Lindemann et al (1986)
Amilasa	1.0	2.1	3.1	14.5	42.7	48.8	Corring et al
	1.0	---	28.9	59.7	143.8	177.4	(1978)
	1.0	23.9	57.1	101.2	106.7	---	Owsley et al (1986) Lindemann et al (1986)
Lipasa	1.0	5.1	5.6	19.0	23.0	16.1	Corring et al
	1.0	2.1	5.1	10.3	2.6	---	(1978) Lindemann et al (1986)

<sup>1</sup> Todas las cifras se refieren a la cantidad total de toda enzima en el páncreas por unidad de peso corporal (unidades enzimática/kg) relativas a los del lechón sin lactar en el nacimiento (tomada como 1.0).

### Secreción exocrina pancreática y digestibilidad de la dieta

La importancia de la secreción pancreática en los procesos digestivos ya había sido observada previamente por Pekas et al (1966) quienes hallaron que sin la intervención del jugo pancreático la digestibilidad de la MS y el N decrecía evidentemente (tabla 7.2).

**Tabla 7.2 Efecto de la eliminación de la secreción pancreática en índices digestivos de cerditos.**

Edad (días)	Cerditos Intactos		Cerditos sin secreción pancreática	
	26	45	26	45
Digestibilidad de MS (%)				
Dieta de leche	93.3	95.6	79.5	93.9
Dieta de soya	91.0	88.1	87.5	81.2
Digestibilidad de N (%)				
Dieta de leche	92.2	96.5	51.9	91.0
Dieta de soya	82.1	84.8	74.4	52.5

FUENTE: Pekas et al (1966)

En experimentos posteriores a los de Pekas et al (1966), Corring y Bourdon (1977) demostraron que con la ligadura del conducto de Wirsung, había un descenso inmediato de los índices digestivos en el cerdo, aunque con posterioridad podía presentarse cierta compensación digestiva sin explicación clara (tabla 7.3). Junto con estos hallazgos, Corring y Bourdon (1977) también encontraron un incremento en el peso del intestino delgado y del páncreas de los animales con la secreción pancreática excluida.

**Tabla 7.3 Digestibilidad de una dieta (en %) después de la ligadura del conducto pancreático en el cerdo.**

INDICE	TRATAMIENTO	Período postligadura (día)		
		15-24	43-52	78-87
MS	Control	78.3	81.9	81.9
	Con ligadura	70.8	75.4	78.1
MO	Control	80.2	83.9	83.9
	Con ligadura	72.6	77.7	80.3
N	Control	76.0	82.3	81.6
	Con ligadura	48.9	61.0	67.6
EB	Control	78.3	82.2	81.8
	Con ligadura	68.8	74.1	76.9
ELN	Control	79.0	82.1	81.9
	Con ligadura	74.6	78.6	80.1

FUENTE: Corring y Bourdon (1977).

### Adaptación dietética de la secreción exocrina pancreática

Corring (1977) ha discutido acerca del posible efecto de los productos de la hidrólisis del alimento en el mecanismo de la adaptación dietética del páncreas exocrino, que ya ha sido demostrado en el cerdo (Corring y Saucier 1972).

Pudiera decirse que son clásicos los experimentos de Corring sobre esta adaptación tanto a las proteínas como a los carbohidratos y lípidos de la dieta (ver Corring 1975, 1980), aunque otros grupos de investigadores han obtenido igualmente resultados interesantes en esta línea de investigación. Como ilustración a continuación aparecen los resultados de Ozimek et al (1985) donde se muestra la respuesta del páncreas exocrino al nivel y tipo de grasa (tabla 7.4).

En este estudio se incluyó en las dietas experimentales un 15% de aceite de canola fresco o calentado al vacío a 180°C durante 12 y 24 horas. Se midió en las dietas el contenido de malonaldehído como índice de rancidez. Ozimek et al (1985) encontraron un efecto de tratamiento al aumentar el volumen de jugo pancreático segregado y sobre todo, un incremento en la actividad de la lipasa.

**Tabla 7.4 Exportación diaria de jugo pancreático en cerdos alimentados con distintos tipos y niveles de grasa.**

			Aceite de canola (15%)			
			Control	Fresco	Calentado (12 h)	Calentado (24 h)
Contenido en	dieta		0.4	3.2	13.8	16.7
Malonaldehído (mg/kg)						
Índices pancreáticos:						
			3.0	2.8	3.7	3.1
Jugo pancreático (l)			17.3	19.9	22.0	22.5
Proteína (g)			35.6	17.7	14.6	26.2
Amilasa (unidades x 10 (-3))			117.0	107.4	138.0	128.3
Quimotripsina (unidades x 10 (-3))			176.1	218.0	228.4	241.6
Tripsina (unidades x 10 (-3))			2.96	10.17	25.00	18.11
Lipasa (unidades x 10 (-3))						

FUENTE: Ozimek et al (1985).

El páncreas exocrino también puede adaptarse a la naturaleza del tipo de sustrato proteico. A este respecto Valette et al (1988) informaron que en cerdos alimentados con caseína o con un concentrado de colza, la actividad específica de las enzimas proteolíticas fue distinta, sobre todo cuando los animales que se alimentaron con una fuente proteica pasaron a alimentarse con la otra.

Este cambio se hizo patente en la actividad específica de la quimotripsina y la elastasa, pero no lo fue en la tripsina y la carboxipeptidasas A y B (tabla 7.5). Por otra parte este efecto pareció requerir más de una semana para estabilizarse, lo cual también lo hizo distinto del anteriormente conocido de adaptación a la cantidad de nutrientes en la dieta, que se manifiesta a más corto plazo.

**Tabla 7.5 Actividad específica de proteasas pancreáticas en respuesta a un cambio en la naturaleza de la proteína dietética.**

	Fuente proteica (primero/después)		Efecto
	Caseína/colza	Colza/caseína	
Actividad específica:			
Quimotripsina	38.4	32.9	****
Elastasa	1.5	1.8	****
Tripsina	3.8	3.8	NS
Carboxipeptidasa A	19.8	20.0	NS
Carboxipeptidasa B	1.7	1.7	NS

FUENTE: Valette et al (1988)

En torno a la adaptación dietética de la secreción pancreática, Corring (1977) ha propuesto que los productos de la hidrólisis del alimento pudieran ser el factor inicial de información al páncreas, y se ha sugerido que pudieran existir ciertas hormonas o péptidos intestinales o tal vez duodenales específicos para la síntesis y excreción de enzimas pancreáticas, de forma tal que para cada pool intestinal de productos de hidrólisis: aminoácidos, glucosa o ácidos grasos, correspondería un factor duodenal que actuaría específicamente en la biosíntesis de enzimas proteolíticas, amilasa o lipasa respectivamente.

Este factor no parece ser ninguno de las enterohormonas, que regulan la activación e inhibición de la secreción del páncreas (Corring 1977; Rerat y Corring 1991).

Debido a que el páncreas exocrino adapta su equipo enzimático a la cantidad absoluta ingerida de los componentes dietéticos, se ha sugerido (ver Corring 1977) que el tamaño del pool de los productos de la hidrólisis intestinal pudiera ser la señal de información para el páncreas, puesto que los procesos del tracto digestivo y particularmente los del vaciado estomacal son sensibles a cualquier modificación dietética (ver CAPITULO VI).

Por lo tanto, la variación en el tamaño del pool intestinal no puede ser inmediata y se ha sugerido que el tránsito gastrointestinal debe adaptarse a la nueva dieta de manera tal que la variación en el tamaño de un determinado pool intestinal sea suficiente para empezar el fenómeno informativo.

Aún así, hay factores que no tienen una vinculación inteligible con la adaptación de la secreción pancreática, y tal es el caso de la fibra del alimento.

A este respecto, Zebrowska (1985) informó el resultado de una prueba en que brindó a los cerdos trigo como tal o afrecho o harina del trigo, o celulosa de forma tal que pudo determinar la influencia del origen y el nivel de fibra en la dieta en la secreción pancreática porcina. Zebrowska (1985), observó un cambio notable en el volumen segregado y en el contenido de electrólitos de acuerdo con el tratamiento, pero no hubo modificación en la actividad enzimática total (tabla 7.6).

Estos datos polacos pudieran indicar que las dietas fueron similares en el tipo de almidón y en el contenido de proteína, el tipo y el nivel de fibra fueron los responsables directos en los cambios en el volumen y composición del jugo pancreático.

También se sugirió que en las dietas con un mayor contenido de bicarbonato pudo darse una mayor secreción gástrica, lo que redundaría en una mayor liberación de secretina, el mayor estimulante en la secreción pancreática de agua y electrólitos.

**Tabla 7.6 Exportación diaria de jugo pancreático en cerdos alimentados con distintos tipos y niveles de fibra.**

Componente dietético (%):				
Trigo				
Afrecho de trigo	88.7	44.4	44.4	---
Harina de trigo	---	44.3	---	---
Celulosa	---	---	44.3	85.7
	---	---	---	4.0
Análisis (%)				
N x 6.25				
Fibra cruda	15.03	15.54	14.95	14.52
Jugo pancreático (ml)	4.08	6.37	2.05	3.90
Proteína (g)	4108	4560	2556	1757
Tripsina (unidades x 10 <sup>-3</sup> )	17.9	19.0	15.8	13.0
Quimotripsina (unidades x 10 <sup>-3</sup> )	184.3	188.2	214.0	193.4
Carboxipeptidasa A (unidades x 10 <sup>-3</sup> )	117.2	112.2	114.0	90.6
Carboxipeptidasa B (unidades x 10 <sup>-3</sup> )	5.0	5.2	5.6	7.1
Amilasa (unidades x 10 <sup>-3</sup> )	21.9	22.6	28.5	30.1
K (g)	843.3	873.8	855.5	542.1
Na (g)	1.34	1.43	0.85	0.52
Cl <sup>-</sup> (mmol)	15.3	16.6	10.1	6.5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mmol)	85.7	90.2	72.0	56.7
	604.0	646.0	349.0	238.0

FUENTE: Zebrowska (1985).

En otro experimento se estudió la influencia de harina de soya cruda o tratada por el método habitual de calor (Zebrowska et al 1985). Aquí se encontró también un mayor volumen de secreción pancreática en los cerdos alimentados con la harina de soya cruda (tabla 7.7), pero no hubo cambios en la actividad enzimática total. Zebrowska et al (1985) comentaron que si la respuesta de la secreción pancreática depende mucho del vaciado estomacal en los humanos, también pudiera ocurrir en el cerdo.

**Tabla 7.7 Exportación diaria de jugo pancreático en cerdos alimentados con harina de soya normal o cruda.**

	Harina de soya	
	Normal	Cruda
Jugo pancreático (ml)	1770	2908
Proteína (g)	11.0	13.5
Tripsina (unidades x 10 <sup>-3</sup> )	149.8	176.1
Quimotripsina (unidades x 10 <sup>-3</sup> )	82.4	83.0
	9.1	11.2
Carboxipeptidasa A (unidades x 10 <sup>-3</sup> )	24.6	28.9
	550.0	728.4
Carboxipeptidasa B (unidades x 10 <sup>-3</sup> )		
Amilasa (unidades x 10 <sup>-3</sup> )		

FUENTE: Zebrowska et al (1985).

## **Regulación de la secreción del páncreas exocrino**

La secreción del páncreas está controlada por una serie de eventos complejos e interdependientes que involucran al sistema nervioso central y a hormonas gastrointestinales que son liberadas por la mucosa de distintos órganos del tracto, en lo fundamental el estómago y el duodeno. También actúan hormonas liberadas por los islotes pancreáticos para controlar la secreción exocrina. El control nervioso ejerce una función preponderante en la fase cefálica, y la estimulación ocurre a través del vago, quien favorece así la secreción. Esta respuesta secretora del páncreas ha sido bien caracterizada por Hickson (1970 a, b) y como en otros mamíferos, en el cerdo, la regulación nerviosa de la secreción de enzimas por parte de las células acinares se hace por intermedio de la liberación de acetilcolina en la sinapsis terminal, cerca de las células exocrinas.

La fase gástrica de la secreción pancreática se inicia con la distensión del estómago y probablemente por la exposición de la mucosa gástrica a los nutrientes de la ingesta. Aunque los reflejos nerviosos se activan durante esta fase, otro factor importante es la secreción ácida, que a su vez estimula la liberación de secretina en el duodeno. La fase intestinal de la regulación de esta secreción transcurre mediante la acción de las gastroenterohormonas, lo que no tiene lugar durante la fase cefálica. Las principales hormonas que controlan la secreción exocrina pancreática son la secretina y la colecistoquinina o pancreozimina.

La secretina se produce en las células K o S del duodeno y el yeyuno, y es liberada por las mismas con la entrada en el duodeno de iones hidrógeno no amortiguados contenidos en la digesta emitida por el estómago. Como resultado de su liberación la secretina pone en marcha la secreción de un fluido muy rico en bicarbonato por parte de las células de los ductos pancreáticos, lo que conduce a una rápida neutralización del ácido libre presente en el duodeno y así el contenido en el órgano alcanza una reacción alcalina que es óptima para la acción de las enzimas pancreáticas.

La colecistoquinina se origina en células duodenales, y se libera en respuesta a la presencia en el duodeno de L-aminoácidos, ácidos grasos del tipo C 10 - C 18 y de cationes divalentes. La colecistoquinina estimula la liberación de las enzimas pancreáticas sintetizadas en las células acinares del páncreas de una parte, y las contracciones de la vesícula biliar de la otra. Adicionalmente la colecistoquinina potencia la acción de la secretina y viceversa. Estas acciones tienen lugar en receptores de membrana en las células del páncreas, cuyas características son similares a las del cerebro y de la vesícula biliar.

Los nutrientes absorbidos tales como los lípidos, aminoácidos, glucosa y el calcio inician la cuarta fase o humoral al actuar directamente sobre las células acinares para estimular o inhibir la secreción. Esta fase de la regulación es la que menos apoyo experimental tiene en el cerdo. Se sabe que en otras especies en esta fase los nutrientes absorbidos pueden actuar indirectamente mediante el estímulo positivo para la liberación de hormonas tales como la colecistoquinina, la insulina y la tiroxina.

## **La secreción biliar y la circulación enterohepática**

### **La secreción biliar.**

La bilis es una secreción hepática indispensable en la digestión de los lípidos dietéticos. En un recuento sobre las características de la digestión y absorción de los lípidos en el cerdo, Demarne (1982) llamó la atención sobre la configuración molecular de las sales biliares conjugadas, que les hace presentar un carácter lipófilo y simultáneamente hidrófilo. En fase acuosa las sales biliares conjugadas forman las micelas a partir de una concentración micelar crítica; estas micelas son agregados de algunas moléculas, y es en forma de micelas mixtas que se pueden encontrar en las sales biliares conjugadas, junto con los fosfolípidos, fundamentalmente lecitina, y con el colesterol. En contenido digestivo, las micelas mixtas contienen los productos de la digestión de las grasas en forma de 2-monoglicéridos y ácidos grasos libres.

Los triglicéridos no se solubilizan en las micelas. En el duodeno, los triglicéridos están en forma de finos glóbulos dispersos en la fase acuosa constituyendo una emulsión.

La bilis es esencial para una apropiada digestibilidad de la grasa dietética; esto último fue demostrado por Corring et al (1979) quienes al ligar el conducto biliar hicieron disminuir la energía digestible en un 32% debido a una reducción de un 53% de la digestibilidad de la grasa en cerdos alimentados con una dieta que contenía un 21% de grasa (tabla 7.8).

**Tabla 7.8 Influencia de la ligadura del conducto pancreático en la digestibilidad de nutrientes en el cerdo.**

Digestibilidad (%)	Conducto biliar	
	Sin ligar	Ligado
Materia orgánica	65.1	52.8
Energía	67.9	46.4
Grasa	80.3	30.8
ELN	45.0	43.2
N	78.4	77.4

FUENTE: Corring et al (1979).

Varias son las estimaciones del monto diario de bilis exportada al duodeno. En este sentido Juste (1982) ha indicado que en cerdos entre 35 y 65 kg alimentados con una dieta convencional, la secreción biliar es del orden de 2 - 2.5 litros/día. Este mismo investigador obtuvo como promedio un volumen de 2.1 litros/día en cerdos de 45 kg (Juste et al 1979). Esta bilis contenía 37 g de ácidos biliares. Los datos de Egger et al (1974) habían sido algo inferiores: 0.75 ml/kg PC/hora en comparación con los de Juste et al (1979): 1.9 ml/kg PC/hora.

Al parecer, existe una respuesta de la secreción biliar al contenido dietético de grasa, pero al comentar datos de Aliev (1980), Juste (1982) señaló que no hubo una influencia lineal (tabla 7.9). De acuerdo con la información brindada, se duplicó el volumen de bilis que se exportó al duodeno si los cerdos pasaron de una dieta semisintética sin grasa a otra con 50% de grasa animal, pero disminuyó cuando se elevó este tenor aún más (12%).

Cuando se cambió la dieta semisintética a otra natural pero isolipídica, la secreción biliar creció en 20%. Sin embargo, podría decirse que el estudio no permitió precisar si estos resultados se debieron a la naturaleza física del alimento o si era al menos en parte, por causa del tipo de grasa ingerida: sólo animal en la dieta semisintética o sólo vegetal en la natural.

**Tabla 7.9 Influencia del nivel lipídico en dieta en la secreción biliar del cerdo.**

Tipo de dieta	Nivel de lípidos (%)	Secreción biliar (ml/día)	Lípidos biliares (g/día)
Natural	3	1991	12.62
Semisintética	0	1719	7.20
Semisintética	3	2358	10.94
	5	3442	14.35
	7	3104	9.16
	10	2543	8.65
	12	2037	6.17

FUENTE: Aliev (1989, citado por Juste 1982).

En contraste con el efecto de la grasa dietética en la secreción biliar, ésta no parece alterarse por el tipo de la fuente proteica en el alimento, tal y como se sospechó inicialmente (Hagemeister et al 1985). Los datos de este grupo de investigadores aparecen en la tabla 7.10.

**Tabla 7.10 Influencia del tipo de fuente proteica en las características de la secreción biliar de cerdos miniatura Gottingen.**

	Caseína	Concentrado de soya
Volumen biliar (ml/20 min)	6.7	8.4
Ácidos biliares (mmol/l)	88.4	88.8
Fosfolípidos (mmol/l)	3.8	6.2
Colesterol (mmol/l)	1.7	1.8

FUENTE: Hagemeister et al (1985).

Se sabe que la secreción biliar en el duodeno es más bien continua durante todo el día, pero su ritmo de emisión no es constante, ya que esta se incrementa después de la ingestión de alimentos, lo que ha representado un 60% del total vertido diario en cerdos alimentados dos veces al día (Juste et al 1979). Esto se debe a la actividad de la colecistoquinina, que estimula las contracciones de la vesícula biliar con la llegada de digesta al duodeno.

#### **Circulación enterohepática.**

Las necesidades diarias de sales biliares son mayores que la capacidad de síntesis del cerdo, lo que se soluciona por el establecimiento de la circulación enterohepática. La reutilización de los ácidos biliares implica la absorción por el intestino, su transporte por la porta y manipulación de éstos por el hepatocito. Debido a esta circulación enterohepática, las sales biliares reciclan de 5 a 10 veces al día, lo que depende de la degradación microbiana y el tipo de dieta. De esta forma menos del 5% de los ácidos biliares se pierden por la vía fecal en cada ciclo. Se aduce que las pérdidas fecales de ácidos biliares aumentan con el acrecentamiento del tenor de grasa y de fibra en la comida; las grasas pueden interferir la absorción de los compuestos biliares, mientras que estos pueden absorberse en la fibra que al transitar por el intestino los arrastran a zonas de más difícil absorción. La absorción intestinal de sales biliares, al menos en el cerdo, es más importante en el duodeno que en el yeyuno-íleon, y por otra parte no es selectiva con respecto a ningún ácido biliar en particular. Para demostrar lo primero, Juste et al (1988) cateterizaron el conducto biliar y simultáneamente implantaron sondas cánulas en el intestino delgado: una en el duodeno y otra en el yeyuno-íleon a unos 12.3 y 5.2 m de la válvula íleo-cecal respectivamente. Juste et al (1988) observaron una reducción drástica en la exportación diaria de sales biliares cuando estas se retornaron al intestino por el yeyuno-íleon en vez de por el duodeno (tabla 7.11).

**Tabla 7.11 Exportación diaria de sales biliares en dependencia del sitio de entrada al intestino delgado del cerdo.**

		<b>Caes biliares (mmol)</b>	<b>totales</b>
Cerdo 1			
Retorno	por	el	250.6
	duodeno		107.7
Retorno por el yeyuno- íleon			
Cerdo 2			
			266.1
			147.1
Retorno	por	el	
	duodeno		
Retorno por el yeyuno- íleon			

FUENTE: Juste et al (1988).

#### **Factores que influyen en la digestión en el intestino delgado**

Muchos son los factores que influyen en la digestión en el intestino delgado, entre ellos, los que se relacionan con aspectos tales como los quirúrgicos de implantación de cánulas o los de métodos de muestreo, que son de particular importancia en los estudios de la digestibilidad en el intestino delgado. Por otra parte, debe considerarse que los mismos factores que modifican la digestibilidad en todo el tracto gastrointestinal (ver CAPITULO V) deben hacerlo en mayor o menor medida en la digestibilidad del intestino delgado.

De todas las fracciones que componen la dieta, la nitrogenada es la que mayor importancia tiene desde el punto de vista de su digestión en el intestino delgado, a partir de los resultados experimentales que se han ido acumulando desde los primeros años de la década de los 70's.

Ya es indiscutible que todo el nitrógeno que desaparece del tracto gastrointestinal más allá de la válvula íleo cecal inevitablemente aparecerá en la orina en forma de urea, lo que indica que ninguna cantidad de aminoácidos que desaparezca en el intestino grueso es utilizado como tal por el cerdo (Zebrowska 1973). Por consiguiente, todos los aminoácidos que se originen como consecuencia de la hidrólisis de las proteínas en el intestino delgado deberán ser absorbidos en esa misma zona del tracto gastrointestinal para ser utilizados como tales. Más aún, dentro de estos aminoácidos, los de más interés son los esenciales. En una revisión sobre este tema, Sauer y Ozimek (1986) hicieron un análisis cuidadoso de la digestibilidad de aminoácidos en esta especie animal, tanto en granos de cereales como en suplementos proteicos, considerando que tales alimentos son los que más comúnmente se usan en la alimentación porcina. Un resumen de los datos evaluados por Sauer y Ozimek (1986) con respecto a la digestibilidad ileal de aminoácidos esenciales se presenta en la tabla 7.12.

**Tabla 7.12 Rangos de digestibilidad ileal del nitrógeno y aminoácidos esenciales en granos de cereales (en porcentaje).**

	<b>Cebada</b>	<b>Trigo</b>	<b>Maíz</b>
Nitrógeno	68.6-77.1	71.0-86.3	60.6-82.4
Aminoácidos esenciales:			
Arginina	77.0-83.0	79.0-90.0	80.3-88.6
Histidina	74.4-83.0	79.9-92.0	82.0-88.3
Isoleucina	75.6-83.0	78.9-89.1	71.7-87.5
Leucina	78.2-82.0	80.9-89.9	80.0-92.5
Lisina	64.9-79.0	62.3-81.0	71.0-82.0
Lisina	72.1-88.0	79.4-92.4	84.1-91.9
Metionina	77.8-83.0	82.1-92.0	72.8-90.6
Fenilalanina	67.0-76.0	76.0-76.0	-----
Treonina	67.7-80.0	74.0-87.7	73.1-84.9
Valina			

FUENTE: Sauer y Ozimek (1986).

Entre los aspectos de interés en estos datos de digestibilidad, debe tenerse en cuenta que, comparando las de unos aminoácidos con las de otros, los de lisina, treonina y triptófano fueron los más bajos, mientras que los de arginina, leucina y fenilalanina, los más altos. Por otra parte, dentro de cada cereal, la digestibilidad de un aminoácido en particular sufrió grandes variaciones; la digestibilidad de la lisina fue de 65 a 79% en la cebada, de 62 a 81% en el trigo y de 71 a 82% en el maíz.

Sauer y Ozimek (1986) han sugerido que una gran proporción en esta variación está ligada al bajo contenido de aminoácidos en los granos de cereales, lo que significa que cambios relativamente pequeños en el nivel de los aminoácidos endógenos puede causar un cambio relativamente grande en la digestibilidad aparente de estos compuestos, que se suele expresar en por ciento. En este caso, cabe señalar que mientras el nivel de treonina endógena es alto, el de lisina y triptófano es bajo en los cereales. Otros factores que no están relacionados directamente con la digestibilidad ileal de los aminoácidos, son la variedad de granos, el nivel de fertilización y condiciones ambientales. Estos factores, siempre según Sauer y Ozimek (1986), pueden alterar las cantidades relativas de las cuatro mayores proteínas de las semillas (albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas), y al modificar el perfil de aminoácidos debe necesariamente alterarse la digestibilidad del N y de cada tipo de aminoácido.

El contenido de tanino o polifenoles en los cereales es otro factor importante que puede modificar la digestibilidad ileal de los aminoácidos. Los taninos se pueden unir a las proteínas (aminoácidos) formando complejos resistentes a las enzimas proteolíticas o pueden enlazarse con las mismas enzimas (Eggum y Christensen 1975). Como ejemplo de hasta qué punto empeora la digestibilidad de dietas de sorgo para cerdos en tratamientos en los que el sorgo es alto en tanino, en la tabla 7.13 se muestran cifras referentes no solamente a aminoácidos sino también a otros indicadores de la digestibilidad ileal, y también total.

**Tabla 7.13 Influencia del nivel dietético de tanino en la digestibilidad ileal de dietas de sorgo en cerdos.**

	Sorgo alto en tanino		Sorgo bajo en tanino		Maíz
	GA 615	NK 300	TAM 680	G 776-W	
Contenido de tanino <sup>1</sup>	3.40	3.17	0.83	0.88	0.01
Digestibilidad de MS (%)					
Ileal	71.4	74.6	75.7	78.2	75.2
Total	81.8	86.2	90.4	91.3	87.7
Digestibilidad de Energía (%)					
Ileal	72.5	75.7	76.9	79.2	76.9
Total	80.3	85.4	89.5	90.1	87.2
Digestibilidad de N (%)					
Ileal	68.7	72.8	75.3	77.8	78.8
Total	72.0	80.7	83.7	87.0	85.9
Digestibilidad de Aminoácidos esenciales (%)					
Ileal	71.8	76.2	78.9	82.1	83.0
Total	74.3	81.9	84.7	88.5	87.5
Digestibilidad de Aminoácidos no esenciales (%)					
Ileal	65.1	71.3	75.5	78.7	79.5
Total	71.3	80.9	84.3	88.0	87.1

<sup>1</sup> Expresada como mg de latecol/100 mg MS

FUENTE: Cousins et al (1981).

Se han ensayado diferentes tratamientos tecnológicos para inactivar el contenido de tanino en el sorgo, y a este respecto, Brand et al (1989) ha presentado evidencia experimental de que la digestibilidad ileal, y también la total, pueden mejorarse cuando el sorgo resistente a aves es tratado con calor sin y, sobre todo, con amonificación (tabla 7.14). Al parecer la amonificación térmica, además de reducir el contenido de taninos, puede causar la amoniólisis de los grupos ester.

**Tabla 7.14 Influencia del tratamiento térmico sin y con amoníaco de sorgo resistente a aves en la digestibilidad ileal de dietas de sorgo en cerdos.**

	Sorgo tratamiento	sin	Sorgo con tratamiento	
			Sin NH <sub>3</sub>	Con NH <sub>3</sub>
Contenido estimado en tanino (%)	0.8		0.7	0.3
Digestibilidad de MS (%)				
Ileal	70.7		74.8	78.4
Total	82.4		84.4	86.9
Digestibilidad de MS (%)				
Ileal	66.6		72.7	76.1
Total	79.3		82.0	85.9
Digestibilidad de MS (%)				
Ileal	25.5		51.4	66.0
Total	59.9		61.5	70.6

FUENTE: Brand et al (1989).

La digestibilidad ileal de los aminoácidos indispensables de suplementos proteicos está en la tabla 7.15. Este indicador fue mayor en la harina de soya, intermedio en la harina de girasol y menor en la harina de algodón. Por otra parte no hubo un comportamiento homogéneo en la digestibilidad de cada uno de los aminoácidos esenciales: la treonina y el triptófano fueron las menos digestibles en la harina de soya; sin embargo en la harina de algodón y de girasol, la lisina ocupó la posición de la treonina junto al triptófano. También merece comentarse que en los suplementos proteicos hubo menos variabilidad, entre muestras, si se compara con la de los granos de cereales, con excepción de la metionina, posiblemente por limitaciones analíticas. Ello pudiera ser reflejo de un mayor contenido de aminoácidos en estos suplementos, lo que contrarresta hasta cierto punto la influencia de los aminoácidos endógenos.

**Tabla 7.15 Rangos de digestibilidad ileal del nitrógeno y aminoácidos esenciales en suplementos proteicos (en porcentaje).**

	Harina de soya	Harina algodón	de Harina de girasol
Nitrógeno	79.3-85.3	69.0-79.0	72.0
Aminoácidos esenciales:			
Arginina	88.9-91.9	85.0-92.0	86.6-88.9
Histidina	83.5-89.6	75.0-85.0	79.3-81.0
Histidina	81.5-84.8	61.0-76.0	75.7-78.9
Isoleucina	80.8-85.0	64.0-77.0	75.6-79.4
Leucina	85.0-89.2	53.0-70.0	69.0-74.5
Lisina	77.1-90.2	64.7-82.2	80.0-88.5
Metionina	83.4-88.4	72.0-87.0	71.8-80.3
Fenilalanina	72.9-81.1	55.0-69.0	66.8-74.2
Treonina	77.5-84.2	49.7-54.7	-----
Triptófano	80.2-83.6	60.7-77.0	70.3-75.7
Valina			

FUENTE: Sauer y Ozimek (1986).

Tal vez en los granos de leguminosas se halla uno de los factores que más puede influir en la digestibilidad ileal de los aminoácidos: el factor antitriptico, del que pueden quedar residuos más o menos importantes en dependencia de la eficiencia del tratamiento térmico de la soya. Estos residuos evidentemente tienen un efecto negativo en esa digestibilidad por la formación del complejo tripsina-inhibidor que inhibe la proteólisis (tabla 7.16) y además porque también lleva la exportación de nitrógeno al lumen intestinal. Los datos que apoyan lo anterior son de Ozimek et al (1985).

**Tabla 7.16 Efecto de harina de soya cruda o cocida en autoclave en la digestibilidad ileal de aminoácidos en cerdos.**

Digestibilidad (%)	Harina de soya cruda	Harina de soya cocida
Aminoácidos indispensables	45 - 47	71 - 82

FUENTE: Ozimek et al (1985) citado por Sauer y Ozimek (1986).

Por otra parte ya en 1977, Yen et al habían demostrado en experimentos in vitro el efecto negativo del factor antitripsina de la soya cruda en la actividad de la tripsina y la quimotripsina en el páncreas y el intestino delgado de los cerdos.

Un nuevo enfoque para contrarrestar el factor antitripsina de la soya consistiría en el lograr nuevas variedades cultivadas de la leguminosa con una baja actividad de ese factor, lo que a su vez requeriría un tratamiento térmico sólo moderado. A este respecto, Herkelman et al (1992) han demostrado que estos procedimientos son efectivos para elevar la digestibilidad ileal de distintos índices (tabla 7.17)

**Tabla 7.17 Digestibilidad ileal de nutrientes en cerdos alimentados con soya cruda o calentada, convencional o con baja actividad antitripsina.**

Procesamiento de la Soya variedad convencional	Cruda		Calentada		Ex- solvente
	Si	No	Si	No	
Actividad antitripsina estimada (mg/g)	5.3	2.5	1.2	0.3	0.6
Digestibilidad (%)					
MS	80.8	82.1	84.2	84.2	84.1
N	57.5	60.0	74.4	74.8	83.1
Arginina	61.6	68.7	75.4	85.2	91.3
Histidina	63.1	69.8	74.0	82.6	87.8
Isoleucina	51.2	57.6	65.0	73.9	83.7
Leucina	51.1	58.2	66.1	74.9	85.3
Lisina	59.8	66.9	70.5	77.4	85.8
Metionina	58.3	65.3	70.2	78.2	87.0
Fenilalanina	52.7	60.1	68.8	77.9	87.7
Valina	50.2	57.3	65.8	73.1	83.1
Aminoácidos esenciales	55.0	62.6	69.1	77.4	85.8
Aminoácidos no esenciales	53.6	61.2	69.0	76.7	84.5

FUENTE: Herkelman et al (1992).

Se ha dicho que del contenido dietético de fibra puede depender la digestibilidad ileal del nitrógeno y de los aminoácidos, entre otras razones porque la fibra puede favorecer la descamación de las células de la mucosa intestinal, así como la producción de mucus. También la fibra puede absorber aminoácidos y péptidos en su superficie, previendo así la absorción de estos compuestos (Mitaru et al 1984). En otros experimentos se ha encontrado que sustancias que pudieran incluirse entre los llamados polisacáridos que no son almidón, como la pectina, pueden formar geles que impedirían la proteólisis en el intestino delgado. Sobre este particular Dierick et al (1983, citados por Sauer y Ozimek 1986) informaron que si a una dieta con 20% de concentrado de proteína de soya se añade 5% de pectina, la digestibilidad ileal de los aminoácidos indispensables puede decrecer en 3.5 - 16.3% en cerdos. Lo anterior no parece ser tan evidente como lógico. En este sentido Furuya y Kaji (1991) han informado el resultado de un experimento en el que, aunque el monto de nitrógeno y aminoácidos ileales tendieron a incrementarse con el aumento de la fibra neutra detergente en el alimento, esto no fue significativo (tabla 7.18).

**Tabla 7.18 Emisión ileal de aminoácidos esenciales y nitrógeno (en g/día) de acuerdo con la fibra neutra detergente en dietas para cerdos.**

	Fibra neutro detergente (% MS)				
	3	6	9	12	15
Nitrógeno	2.97	2.79	3.67	3.44	2.82
Arginina	0.70	0.74	0.82	0.77	0.67
Histidina	0.29	0.26	0.30	0.30	0.32
Isoleucina	0.40	0.36	0.42	0.41	0.46
Leucina	0.69	0.61	0.72	0.73	0.80
Lisina	0.53	0.49	0.56	0.56	0.62
Metionina	0.14	0.13	0.14	0.14	0.16
Fenilalanina	0.52	0.51	0.59	0.56	0.64
Treonina	0.63	0.57	0.69	0.69	0.76
Valina	0.55	0.50	0.60	0.60	0.66

FUENTE: Furuya y Kaji (1991).

En este sentido Sauer et al (1991) encontraron que con la excepción de la leucina, la inclusión de la fibra no determinó modificación alguna en la digestibilidad ileal de los aminoácidos esenciales (tabla 7.19), lo contrario de lo que tuvo lugar con la digestibilidad fecal de estas mismas entidades. Esto último sucedió debido a la elevación en la excreción de N bacteriano, como resultado de la síntesis proteica microbiana en el intestino grueso

**Tabla 7.19 Índices digestivos de cerdos alimentados con distintos tipos y niveles de fibra.**

	<b>Control</b>	<b>Alphafloc</b>	<b>Paja de cebada</b>
Contenido de celulosa (% MS)	2.0	11.6	6.4
Digestibilidad de MS (%)			
Ileal	82.5	69.5	69.5
Total	94.6	86.1	84.9
Digestibilidad de energía (%)			
Ileal	85.9	74.5	74.1
Total	95.9	87.6	86.2
Digestibilidad de N (%)			
Ileal	80.9	78.0	77.8
Total	91.7	87.1	88.1
Digestibilidad de aminoácidos esenciales (%)			
Ileal	85.3	82.9	83.2
Total	91.7	87.4	89.1

FUENTE: Sauer et al (1991).

Debe destacarse también que los datos de Sauer et al (1991) sí confirmaron la opinión generalizada de que la incorporación de fuentes fibrosas en el alimento decrecen la digestibilidad no solo fecal, sino también ileal de la energía, lo cual es un aspecto a tener en cuenta.

El procesamiento tecnológico del alimento con vistas a un mayor aprovechamiento por el animal es tema de investigación corriente, y se hace más perentorio cuando se trata de formular dietas para el destete de cerditos.

Como ejemplo de esto último, en la tabla 7.20 se presenta la información obtenida por Van der Poel et al (1990) concerniente a estudios de digestibilidad ileal en cerditos alimentados con dietas de maíz extruido. En estas cifras se hace evidente que los investigadores holandeses solamente hallaron pequeñas ventajas que no apoyaban el uso de las técnicas de procesamiento que se ensayaron, puesto que únicamente se halló una mejoría en la digestibilidad ileal de la materia orgánica y el extracto libre de nitrógeno, con el maíz extruido.

**Tabla 7.20 Influencia de la extrusión del maíz en la digestibilidad ileal de nutrientes de dietas para cerditos destetados.**

	<b>Maíz sin tratar</b>	<b>Maíz extruido</b>
Almidón en dieta (%)	40.7	42.2
Digestibilidad <i>in vitro</i> del almidón (%)	52.7	87.2
Digestibilidad ileal (%)		83.5
	80.7	90.2
Materia orgánica	88.8	29.9
Extracto etéreo	28.5	86.9
Fibra cruda	84.4	99.7
Extracto libre de nitrógeno	98.1	79.4
Almidón	77.3	82.9
Nitrógeno	83.2	89.4
Lisina	88.8	78.1
Metionina	77.0	
Treonina		
Digestibilidad fecal (%)		
	90.2	91.1
Materia orgánica	86.0	87.5
Extracto etéreo	51.6	54.6
Fibra cruda	93.3	93.9
Extracto libre de nitrógeno	99.9	100.0
Almidón	87.7	88.5
Nitrógeno	88.9	88.8
Lisina	88.6	87.7
Metionina	86.9	87.8
Treonina		

FUENTE: Van der Poel et al (1990).

La técnica de un asa intestinal aislada ha sido usada en los cerdos para estudiar la influencia de distintos factores en la digestión en el intestino delgado. Entre estos factores pudieran encontrarse los antibióticos. Como un ejemplo del efecto beneficioso de estos compuestos en los procesos digestivos pudiera contarse con el trabajo de Dierick et al (1980).

Estos autores aislaron 2 m del intestino delgado mediante dos balones introducidos en sendas cánulas y perfundieron una solución de aminoácidos sin o con 50 ppm de virginiamicina. Este antibiótico favoreció en un 8% la absorción de los aminoácidos (tabla 7.21). Dierick et al (1980) ya habían demostrado que los tratamientos con niveles nutricionales de antibióticos resultaron en una disminución en la degradación de aminoácidos en el intestino delgado con el consiguiente decrecimiento en la producción de aminas y amoníaco, y a la vez, en una mayor absorción de aminoácidos y carbohidratos.

También pudiera mejorar la economía de nutrientes para el cerdo por una menor producción microbiana de sustancias farmacológicamente activas o facultativamente tóxicas.

**Tabla 7.21 Influencia de la virginiamicina (50 ppm) en la resorción de aminoácidos en asas aisladas en el intestino delgado del cerdo.**

Aminoácidos esenciales	Resorción en 15 min (%)	
	- Virginiamicina	+ Virginiamicina
Arginina	90.0	----
Histidina	54.0	70.5
Isoleucina	85.2	90.3
Leucina	86.5	90.9
Lisina	86.1	90.1
Metionina	84.9	89.9
Fenilalanina	88.0	88.4
Treonina	61.0	69.5
Valina	80.0	84.6
Aminoácidos no esenciales		
Acido aspártico	66.9	75.6
Acido gentámico	48.4	57.8
Alanina	51.7	65.0
Glicina	34.2	50.4
Prolina	62.3	74.2
Serina	62.6	72.2
Total de aminoácidos	67.8	75.8

FUENTE: Dierick et al (1980).

### Concepto de digestibilidad ileal

Como se han presentado los datos sobre la digestión en el intestino delgado, se sabe ya que todo el nitrógeno, y más específicamente los aminoácidos dietéticos que desaparecen del tracto antes de la válvula ileocecal, son aprovechables en gran medida por el cerdo, a tal punto que muchas veces se ha propuesto igualar el concepto de digestibilidad ileal con el de disponibilidad. Todo este desarrollo de la teoría de la digestión de los compuestos nitrogenados ha sido reforzado por el establecimiento de la interdependencia significativa entre la digestibilidad ileal del nitrógeno y los rasgos de comportamiento de interés económico.

Lo anterior no es así para el resto de las fracciones de la materia orgánica, que por su aporte energético a partir de la digestión microbiana en el intestino grueso del cerdo, también suministran cierta cantidad de energía al animal desde esa última parte del tracto gastrointestinal. Sin embargo, Batterham (1992) ha llamado la atención sobre el riesgo en que se incurre al identificar la disponibilidad de los aminoácidos con su digestibilidad ileal, cuando se asume que si un determinado aminoácido es absorbido en el intestino delgado, se encuentra en condiciones de contribuir a la síntesis proteica en el animal. Lo interesante de la hipótesis anterior es que parece válida cuando se trata del uso de la harina de soya como fuente proteica única o mayoritaria en la dieta, pero no ocurre otro tanto en los casos en que son otras las fuentes proteicas incluidas en el alimento.

Uno de los factores que parecen determinantes en la separación de ambas concepciones parece ser el tratamiento térmico de los alimentos, porque el calor tiende a disminuir la disponibilidad de aminoácidos esenciales en el sentido de que pueden ser absorbidos transformados de forma tal que se usan ineficientemente por el cerdo y sin embargo el ensayo de digestibilidad ileal indica solamente una ligera, a veces insignificante, digestibilidad hasta el íleon terminal. Tal es el caso de la lisina, la treonina, la metionina y el triptófano, mientras que para los aminoácidos ramificados, es decir la isoleucina, la leucina y la valina el calor parece ser menos importante y por lo tanto la reducción en la digestibilidad parece ser la principal causa de la disminución de la disponibilidad.

La interdependencia entre el contenido de aminoácidos digestibles hasta el íleon y su digestibilidad es objeto de estudio en distintos laboratorios, pero aquí como ejemplo se describirá aunque no in extenso, la filosofía de trabajo del grupo de Batterham y algunos de sus resultados. Los investigadores de Wollongbar han formulado dietas con diferentes concentrados proteicos de forma tal que contuvieron la misma cantidad ilealmente digestible de un aminoácido y a continuación lo han determinado experimentalmente. De esta manera, si todo el aminoácido ilealmente digestible pudiera ser usado para la síntesis proteica, debería obtenerse siempre la misma respuesta en el crecimiento y la misma retención del aminoácido en cuestión. Según Batterham (1992) este método es más simple que hacer estudios por separado con la técnica de pendientes de rectas para cada uno de los aminoácidos esenciales para estudios comparativos.

Los estudios relacionados con la lisina aparecen en la tabla 7.22. Las dietas se formularon para contener 0.36 g de lisina ilealmente digestible/MJ DE en dietas basadas en azúcar. Se halló que el comportamiento zootécnico de los cerdos fue marcadamente inferior con la lisina ilealmente digestible de la harina de algodón en comparación con la de la soya. Más aún, se encontró que la retención de la lisina ilealmente digestible de la harina de algodón fue 0.36 en comparación con 0.75 para la soya. Según estas cifras, una parte considerable de la lisina ilealmente digestible de la harina de algodón y de la harina de carne y hueso fue absorbida pero sin poder ser utilizada por los animales, lo que reflejaría una sobrestimación en la disponibilidad de proteínas dañadas por el calor.

**Tabla 7.22 Respuesta del crecimiento de cerdos y retención de lisina ilealmente digestible a partir de dietas formuladas para contener una cantidad equivalente de la lisina ilealmente digestible.**

	DIETAS		
	Harina de algodón	de Harina de carne y hueso	Harina de soya
Ganancia (g/día)	377	492	541
Conversión alimentaria	3.5	2.6	2.3
Proteína depositada (g/día)	38	66	77
Retención de lisina ilealmente digestible/consumo	0.36	0.60	0.75

FUENTE: Batterham et al (1990).

### Métodos de estudio de la digestión en el intestino delgado

Hay dos corrientes de pensamiento en cuanto a cómo estudiar la digestión en el intestino delgado. Una de ellas considera que los métodos in vivo son primordiales, y se dedica a perfeccionar las técnicas quirúrgicas, el lugar anatómico donde hacer los estudios, las formas de recolección de digesta, e inclusive, los métodos de determinación de marcadores y componentes de la digesta. Otra corriente se aparta de ésta, aunque inevitablemente la usa como índice de referencia y de validez de sus propios procedimientos, pero es más barata y rápida, se trata de la técnica in vitro.

Pudiera decirse que además existe la técnica de la bolsa de nylon viajera, que pudiera clasificarse como un método intermedio. El grueso de los datos que se han presentado en este capítulo se han obtenido por métodos in vivo, así es que en esta sección se dedicará un espacio a los métodos in vitro e in situ.

Como un ejemplo ilustrativo del uso de métodos in vitro pudieran presentarse algunos de los datos publicados por los investigadores de la Universidad de Gante. Dierick et al (1985) han informado la utilización de un método de incubación del alimento con pepsina y ácido clorhídrico durante 4 horas y después con pancreatina durante otras 4 horas. De acuerdo con los resultados que se alcanzaron con la prueba de 30 alimentos para cerdos, se encontró una alta correlación entre la digestibilidad in vitro de la proteína (x) y la digestibilidad in vivo, fecal

(y):

$y = 7.256 + 0.854x$  ( $r=0.87$ ) Esta interdependencia pero con la digestibilidad in vivo ileal fue algo más baja:

$$y = 24.745 + 0.568x \quad (r = 0.56)$$

Un resumen del trabajo de Dierick et al (1985) se muestra en la tabla 7.23.

**Tabla 7.23 Comparación de la digestibilidad in vitro e in vivo de la proteína en alimentos para cerdos.**

ALIMENTO	Digestibilidad in vitro (%)	Digestibilidad in vivo (%)	
		Ileal	Fecal
Caseína	99.8	87.1	93.3
Harina de soya	91.4	89.6	94.9
Harina de algodón	88.1	73.1	77.0
Harina de maní	92.8	70.3	87.9
Harina de pescado	91.8	83.9	87.1
Harina de carne	96.8	74.0	84.3
Guisante	95.5	85.0	85.4
Trigo	89.7	82.1	86.6
Cebada	87.0	73.8	80.2
Maíz	81.7	73.6	83.2
Afrecho de trigo	74.5	60.0	70.0
Harina de alfalfa	66.2	----	62.0
Pulpa de remolacha azucarera	55.9	----	39.0

FUENTE: Dierick et al (1985) y Lenis (1983, citado por Dierick et al 1985).

Como ejemplo de lo que se hace en los estudios de digestibilidad in sacco e in situ mediante el uso de la técnica de la bolsa viajera, pudieran presentarse los datos de Graham et al (1985).

Esta técnica consiste en hacer una digestión del alimento, encerrado en una pequeña bolsa de nylon, simulando la acción de la pepsina en medio ácido, para después introducirla por una cánula simple en el duodeno de los cerdos y entonces recogerla en las heces cuando los animales la excreten. En la tabla 7.24 se muestran resultados del trabajo de Graham et al (1985).

**Tabla 7.24 Análisis de regresión entre la fibra neutra detergente, digestibilidad in vivo, in sacco e in vitro en alimentos para cerdos.**

Variable independiente	Variable dependiente	Intercep to	Coefficiente regresión	de	Coefficiente de determinación	de
In vivo (MO)	FND	105.1	- 1.29		0.94 ***	
	in sacco (MO)					
	in vitro (MO)	-39.2	1.36		0.96 ***	
In vivo (PC)	FND	-37.5	1.49		0.92 ***	
	in sacco (PC)	97.9	- 1.20		0.75 ***	
	in vitro (PC)	-323.1	4.19		0.54 **	
	in vivo (MO)	- 45.4	1.30		0.09	
		2.8	0.90		0.74 **	
In vivo (E)	in sacco (E)	6.9	0.85		0.83 **	
	in vitro (E)	- 2.8	0.99		0.91 ***	
	in vivo (MO)	5.1	0.91		0.93 ***	

FUENTE: Graham et al (1985).

## REFERENCIAS

- Aumaitre A. 1972. *World Rev. Anim. Prod.* 8:54-68
- Batterham ES. 1992. *Nutr. Res. Rev.* 5:1-18
- Batterham ES, Anderson LM, Baigent DR, Beech SA y Elliott R. 1990. *Brit. J. Nutr.* 64:679-690
- Brand TS, Badenhorst HA, Siebrits FK y Hayes JP. 1989. 19:171-178.
- Cousins BW, Tanksley Jr TD, Knabe DA y Žebroska T. 1981. *J. Anim. Sci.* 53:1524-1537.
- Corring T, Aumaitre A y Rerat A. 1972. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.* 12:109-124.
- Corring T y Saucier R. 1972. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.* 12:233-241.
- Corring T. 1975. Tesis Doct. Univ. París pp 115.
- Corring T y Bourdon D. 1977. *J. Nutr.* 107:1216-1221.
- Corring T. 1977. *World Rev. Nutr. Dict.* 27:132-144.
- Corring T, Aumaitre A y Durand G. 1978. *Nutr. Met.* 22:231-243.
- Corring T, Juste C, Simoes-Nunes C y Bourdon D. 1979. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.* 19:1123-
- Corring T. 1980. *Reprod. Nutr. Develop.* 20 (4B) 1217-1235.
- Corring T y Chayvialle JA. 1987. *Rep. Nutr. Dev.* 27:967-977.
- Cranwell PD y Moughan PJ 1989. II Proc. Bienn Conf. Australas Pig Sci. Ass. (JL Barnett y DP Hennessy, ed). Werrabee p. 140-157.
- Darcy B. 1982. INRA N°12 Jouy-en-Josas p 45-59.
- Demarne Y. 1982. Jouy-en-Josas p. 99-109.
- Dierick NA, Decuypere JA, Vervaeke IJ y Hendericky HK. 1980. *Proc. Nutr. Pig. Vet. Sci. Congr. Copenhagen* p. 302.
- Dierick N, Vervaeke I, Decuypere J. y Hendericky H. 1985. *Beret. Sta. Husdyrnforskog. Kobenhaun* p. 329-332.
- Egger G, Kurtz K, Strebel H, Bircher J, Weber M, Scholl E y Preisig R. 1974. *Anier. J. Vet. Res.* 35:1203
- Eggum BO y Christensen KD. 1975. *Int. Atom. Energ. Agen. Vienna* p. 135-143.
- Furuya S y Kuji Y. 1991. *Pudoc. Wageningen* p. 190-195.
- Graham, Hesselman K, Aman P, Rundgren M y Thomkes S. 1985. *Beret. Sta. Husdurnforskog. Kobenhaun* p. 337-340.
- Hagemeister H, Scholz K, Kinder E, Barth CA y Drochner W. 1985. *Beret. Sta. Husdyrforseg Kobenhaun* p. 124-127.
- Hickson JCD. 1970 a. *J. Physiol* 206:275-297.
- Hichson JCD. 1979 b. *J. Physiol* 206:299-322.
- Herkelman KL, Cromwell GL, Stahly TS, Pfeiffer TW y Knabe DA. 1992. *J. Anim. Sci.* 70:818-826.
- Juste C, Corring T y Breant P. 1979. *Ann. Biol. Anim. Berech. Biophys.* 19:79-
- Juste C. 1982. Jouy-en-Josas p. 155-173.
- Juste C, Legrand-Defretin V, Corring T y Rerat A. 1988. *Jablonna* p. 267-274.
- Lindemann MD, Cornelius SG, EL Kandelgy SM, Moser RL y Pettigrew JE. 1986. *J. Anim. Sci.* 62:1298-1307.
- Mitaru BN, Blair R, Reichert RD y Roe WE. 1984. *J. Anim. Sci.* 59:1510-1518.
- Nander Poel AFB, Der Hartog LA, Van Stiphout WAA, Bremmers R y Huisman J. 1990. *Anim. Feed. Sci. Tech.* 29:309-320.
- Owsley WF, Orr DE y Tribble LR. 1986. *J. Anim. Sci.* 63:497-506.
- Ozimek L, Sauer WC y Ozimek G. 1985. *Beret. Sta. Husdyrforskog. Kobenhavn* p. 146-148.
- Pekas JC, Thompson AM y Hays VW. 1966. *J. Anim. Sci.* 25:113-121.
- Rerat A y Corring T. 1991. *Pudoc. Wageningen* p. 5-34.
- Sauer WC y Ozimek L. 1986. *Livest. Prod. Sci.* 15:367-388.
- Sauer WC, Mosenthin R, Abrens F y Den Hartog LA. 1991. *J. Animal. Sci.* 69:4070-4077.
- Valette P, Malouin H, Corring T, Savoje L y Berot S. 1988. *Inst. Anim. Physiol. Nutr. Jablonna* p. 97-103.
- Yen J T, Jensen A H y Sisson J. 1977. *J. Nutr.* 107:156-165.
- Zebrowska T. 1973. *Rocz. Nauk. Roln* B95:85.
- Zebrowska T. 1985. *Beret. Sta. Husdubrugsforskog. Kobenhaun* pp. 152-154.
- Zebrowska T, Tanksley Jr TD y Knabe DA. 1985. *Beret. Sta. Husdybrugsforskog. Kobenhaun* pp. 149-151.

## CAPITULO VIII

### **Digestión en el intestino grueso. Aspectos de la digestión en el ciego y en el colon. Concepto de digestibilidad post-ileal. Factores que intervienen en la digestión en el intestino grueso. Métodos de estudio de la digestión en el intestino grueso.**

#### **Introducción**

En un resumen de los conocimientos existentes hasta ese momento, Mason (1979) hacía hincapié en que el intestino grueso del cerdo contiene entre 30 y 60% de toda la digesta en el tracto gastrointestinal en cualquier momento. Esta acumulación no sólo reflejaría la gran capacidad de este intestino, sino también que el tiempo de tránsito de la digesta allí es de 20 a 38 horas en comparación con 5 a 8 horas para el estómago y 2 a 6 horas para el intestino delgado. Por otra parte, al parecer el fin principal de la digestión en el intestino grueso es la absorción de agua y sales minerales, así como la digestión de fracciones de la pared celular vegetal.

Según Mason (1979) no se podría considerar ventajas nutricionales a partir de la degradación de compuestos nitrogenados en condiciones normales de alimentación, salvo el de mantener una población microbiana activa, puesto que la conversión hepática de amoníaco en urea es costosa desde el ángulo energético. Aun así, podría suponerse que en momentos de deficiencia alimentaria, el reciclado de nitrógeno hacia la sangre pudiera beneficiar al cerdo. Junto a esto la síntesis bacteriana de vitaminas K y B pudiera ser de importancia cuando el aporte alimentario es bajo.

#### **Aspectos de la digestión en el ciego y el colon. Absorción de agua y elementos minerales**

Contrariamente a lo que tiene lugar en otras especies, en el cerdo el tránsito de la digesta se incrementa desde el ciego hasta el recto (tabla 8.1), mientras que en la velocidad de absorción de agua ocurre lo contrario.

**Tabla 8.1 Tiempo de retención de digesta y absorción de agua en el intestino grueso del cerdo.**

<b>Secciones del intestino grueso (%)</b>	<b>Tiempo de retención (h)</b>	<b>Absorción de agua (g/100 cm/min)</b>
0 - 20	6.3	0.064
20 - 40	7.8	0.037
40 - 60	6.8	0.015
60 - 80	5.8	0.010
80 - 100	2.9	0.020
<b>TOTAL</b>	<b>29.5</b>	<b>---</b>

FUENTE: Hecker y Grovum (1975).

Es digno de mencionarse de que a pesar de que el intestino delgado es el lugar de mayor cantidad de agua absorbida en el cerdo, tal vez un 60%, se ha dedicado considerable atención al estudio de la absorción de agua en la región post-ileal del tracto gastrointestinal.

A propósito de esos datos de Hecker y Grovum (1975), se ha propuesto posteriormente que la absorción cólica de agua esta controlada por el flujo de digesta que ingresa en el colon, puesto que no hay influencia en esa absorción por variaciones en la concentración de ácidos grasos de cadena corta (tabla 8.2). La interdependencia encontrada por Theodorou et al (1989) se estableció entre la

absorción cólica neta de agua (y, ml/min) entre la primera y la segunda espiral de su órgano y el flujo de digesta (fase líquida, x, ml/min) y fue altamente significativa:

$$y = -0.30 + 0.49x \quad (r, 0.63)$$

**Tabla 8.2 Patrón postprandial de la absorción neta cólica de agua y concentración de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) durante la infusión en el íleon de neomicina (15 g/día).**

Horas después de comer	Absorción neta de agua (ml/min)					AGCC (mg/kg)
	2	4	6	8	10	
Control	0.7	0.8	1.5	1.7	1.5	6.4
Neomicina:						
Día 1	0.6	0.9	1.5	1.6	1.3	2.6
Día 2	0.5	1.0	1.6	1.8	1.2	2.1
Día 3	0.7	0.9	1.3	1.4	1.5	0.5

FUENTE: Theodorou et al (1989).

Pudiera decirse que la metodología de Theodorou et al (1989), muy refinada en contraste con la de Hecker y Grovum (1975), condujo a resultados equivalentes a los de éstos. Desde el punto de vista teórico, Theodorou et al (1989) han propuesto que, como la absorción de agua parece ser un proceso pasivo, la asociación entre esta y el flujo de digesta puede deberse a un incremento de la permeabilidad de membrana inducido por distensión, factores neurohormonales liberados por esa distensión, presión hidrostática actuando como fuerza directora para el flujo de agua o alteraciones en el flujo sanguíneo influyendo en el transporte pasivo.

Los cambios en la concentración cólica de Na y K parece ser de tal forma, que la suma de ambos esta alrededor de 120 mM aunque la concentración de Na disminuyó del ciego al recto y la de K aumenta (tabla 8.3). Ello se debe a que el Na se absorbe activamente a lo largo del colon, mientras que el K se segrega en el colon distal. La concentración de Cl es baja y más bien invariable a lo largo de toda la digesta cólica (20 mM). Debe asumirse que para un equilibrio catión-anión dado, el resto de los aniones serán el bicarbonato y los AGCC.

**Tabla 8.3 Concentración de agua y electrolitos en 5 secciones equi longitudinales sucesivas del colon del cerdo.**

Secciones cólicas	Electrolitos (mequiv/kg H <sub>2</sub> O)			Agua (ml/g MS)
	Na	K	Cl	
1	103.2	23.2	21.7	5.89
2	82.8	29.9	18.4	4.58
3	78.0	42.2	18.0	3.67
4	56.4	60.5	16.7	3.78
5	41.1	83.1	19.2	3.39

FUENTE: Bentley y Smith (1975).

### Digestión de carbohidratos en el intestino grueso

La digestión en el intestino grueso del cerdo de monosacáridos y disacáridos así como del almidón debe considerarse como una consecuencia de su desaprovechamiento digestivo en el intestino delgado. Este desaprovechamiento puede deberse a cierta insuficiencia enzimática, como puede ocurrir con la lactosa, o a una estructura resistente al ataque enzimático, como tiene lugar con el almidón de papa cruda. La digestión de carbohidratos en el intestino tiene lugar gracias a la actividad microbiana que hay en el ciego y en el colon.

Esta misma actividad es la que fermenta estructuras de la pared celular vegetal que se caracterizan por estar conformadas por cadenas de monómeros unidos por beta-enlaces, para los cuales no existen enzimas digestivas apropiadas en el cerdo. Estas estructuras van desde las que se digieren prácticamente en su totalidad como las pectinas, hasta las que sólo se digieren parcialmente como es el caso de la celulosa.

La fermentación de los carbohidratos en el intestino grueso conducen a la formación de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), en lo fundamental ácidos acético, propiónico y butírico, metano, agua y dióxido de carbono. Es obvio que la energía disponible en forma de AGCC es menor que la de los monosacáridos que son absorbidos durante la digestión prececal, y esta diferencia pudiera aumentar si se tiene en cuenta que durante la digestión microbiana, cierta parte de la energía se pierde como calor de fermentación y como metano.

Muller y Kirchgessner (1986) han publicado un estudio sobre la eficiencia en la utilización de la energía metabolizable de distintas familias de nutrientes, en términos de la capacidad de generación de ATP en la que se presenta la evidencia teórica de la diferencia de los AGCC con respecto a otras sustancias como la glucosa y grasas en su menor rendimiento en ATP (tabla 8.4).

**Tabla 8.4 Eficiencia de la utilización de la energía metabolizable (en porcentaje).**

Sustrato	Generación de ATP	Productos de síntesis		
		Grasa	Proteína	Glucógeno (lactosa)
Glucosa	45.3	80	--	95
Grasa	45.7	75-95	--	--
Proteína	36.5	65	87	--
Acido acético	39.4	72	--	--
Acido propiónico	40.4	70	--	79
Acido butírico	42.5	77	--	--

FUENTE: Muller y Kirchgessner (1986).

### Digestión de compuestos nitrogenados en el intestino grueso

La participación de la microflora cecal y cólica en la degradación de materiales nitrogenados provenientes del íleon va en dos sentidos: síntesis de proteína microbiana, que como tal aparece en la excreción fecal, o producción de aminos y amoníaco que después de ser absorbidas por el cerdo, aparecen cuantitativamente en la orina.

El experimento que por tanto ser citado ha devenido en clásico es el de Zebrowska (1973) ya mencionado anteriormente (CAPITULO VII) y que aquí se describe someramente. Zebrowska (1973) comparó la excreción urinaria en cerdos a los que se suministró una dieta libre de proteína o esta se incorporó al alimento o bien se infundió hidrolizada por el duodeno o por el íleon. De acuerdo con los datos que se obtuvieron, prácticamente todo el N infundido ílealmente fue recuperado en la orina (tabla 8.5).

**Tabla 8.5 Excreción fecal y urinaria del N suministrado a cerdos por diferentes vías.**

Balance (g/día)	Dieta libre de proteína	Caseína oral	Hidrolizado de caseína	
			En duodeno	En íleon
Consumo de N	1.00	17.34	17.82	17.55
N fecal	1.42	1.83	1.64	1.50
N urinario				
Total	3.31	5.89	5.56	17.32
Ureico	1.64	3.78	3.00	15.88

FUENTE: Zebrowska (1973).

### Concepto de digestión postileal

La digestión postileal se considera como el resultado de restar a la digestibilidad total o boca-recto, la digestibilidad boca-íleon o ileal. Esta digestión o desaparición de digesta es la que se atribuye como digerida en el intestino grueso. Un estudio hecho con un número muy grande de alimentos, 76 dietas, fue informado por Jorgensen et al (1985) en el que se establecía la relación existente entre la digestibilidad ileal y total en el cerdo. Este trabajo puede servir como un buen ejemplo de la magnitud de la digestión de distintos nutrientes en el intestino grueso (tabla 8.6).

En este estudio se indicó que el 19% de la energía digestible desaparece en el ciego y el colon, mientras que el peso del intestino grueso en la digestión de fibra cruda, extracto libre de nitrógeno y grasa fue de 100, 20 y 5% respectivamente. Según Jorgensen et al (1985) solamente el 9% de la proteína digerida desapareció después de la válvula ileocecal, mientras que ciertos aminoácidos esenciales como la cistina y la treonina fueron degradados en el intestino grueso y otros como la lisina y la metionina fueron sintetizados al parecer por la microflora.

**Tabla 8.6 Participación del intestino grueso en la digestión de nutrientes en el cerdo.**

	Todo el tracto (%)		Hasta el íleo (%)		En intestino grueso (%)	
	Digestibilidad	Proporción digerida	Digestibilidad	Proporción digerida	Digestibilidad	Proporción digerida
Grasa cruda	63	100	60	95	3	5
Fibra cruda	33	100	-3	0	33	100
ELN	89	100	71	80	18	20
Carbohidratos	100	100	92	92	8	8
solubles	81	100	66	81	15	19
Energía	81	100	74	91	7	9
N	81	100	84	104	-3	-4
Lisina	84	100	85	106	-5	-6
Metionina	84	100	70	83	14	17
Cistina	80	100	72	90	8	10
Treonina						

FUENTE: Jorgensen et al (1985).

### Fuentes que intervienen en la digestión en el intestino grueso

Entre los factores de naturaleza dietética que influyen en la digestión en el ciego y el colon, el suero de leche es uno de los más conocidos. Este subproducto de la industria láctea determina un incremento en el peso del intestino grueso de los cerdos (ver CAPITULO II), debido a un incremento en la actividad fermentativa allí, ya que los cerdos no admiten altos niveles de lactosa en el alimento. Esto se hace más agudo a medida que crecen porque la actividad de la lactasa de la mucosa intestinal decrece evidentemente con la edad.

Una aproximación cualitativa a este fenómeno fue publicada por Kim et al (1978) quienes alimentaron cerdos de 107 kg con una dieta que contenía 40% de suero de leche seco (lactosa, 30% en la dieta) y los sacrificaron entre 1.5 y 5 horas después de comer. Kim et al (1978) hallaron que en este período cerca de la tercera parte de la lactosa ingerida pasó al intestino grueso junto con una caída marcada en el pH cecal y el cólico, indicativo de una intensa fermentación (tabla 8.7).

**Tabla 8.7 Fracción de la lactosa consumida ingresada en el intestino grueso y pH del contenido cecal y cólico de cerdos.**

	Tiempo postingestión (h)	de pH cecal	pH cólico	Fracción de lactosa ingresada en el ciego y colon (%)
Hampshire	1.5	6.6	6.4	31.9
	3	5.9	5.9	
	5	5.6	5.7	
Chester White	1.5	6.2	6.5	30.2
	3	5.7	5.9	
	6	5.6	5.8	

FUENTE: Kim et al (1978).

Février y Lachance (1988) han brindado datos de un estudio preciso sobre la influencia de la inclusión del suero de leche en dietas para cerdos, las que a la vez se formularon con tres niveles de celulosa. Este estudio se hizo mediante la determinación de la digestibilidad ileal y total de nutrientes, de forma tal que se pudo hacer simultáneamente una evaluación de la digestión en el intestino grueso. Según Février y Lachance (1988) la digestibilidad total de la mayoría de los nutrientes estuvo negativamente influida por el suero de leche, además de serlo por la celulosa (tabla 8.8), pero no se halló efecto de significación en la interacción entre estos dos factores. Esta interacción sí lo fue en la digestibilidad ileal de distintas fracciones de la pared celular vegetal, que por otra parte no pareció influida por el nivel de celulosa en el alimento.

En lo referente al intestino grueso, se observó que esta sección del tracto gastrointestinal incrementó su participación en la digestión de nutrientes con el aumento en el nivel de celulosa en la dieta, pero sobre todo por la presencia del suero de leche en la comida. Fue muy interesante encontrar un mayor descenso en la desaparición en el ciego y el colon de la hemicelulosa pero no de celulosa, cuando los animales se alimentaron con suero de leche que cuando la dieta contuvo más celulosa

Todos estos resultados concuerdan muy bien con la disminución con la edad de la actividad intestinal de la lactasa, puesto que la evidencia experimental que se acumula señala hacia una alta digestibilidad total de nutrientes en los cerditos precozmente destetados con dietas de suero de leche (ver Tokach et al 1989).

**Tabla 8.8 Digestión en el intestino grueso del cerdo de dietas contentivas de suero de leche y niveles variables de celulosa.**

Suero de leche (%) Celulosa (%)	0			30		
	2.5	4.5	6.5	2.5	4.5	6.5
Digestibilidad ileal (%)						
Energía	86.5	76.5	70.1	74.7	66.0	58.7
ELN	89.9	79.6	72.7	77.9	69.0	60.6
N	88.8	85.4	82.0	88.3	77.6	74.9
FAD	22.5	16.6	21.2	-4.0	9.2	17.3
Celulosa	25.4	16.1	20.6	1.9	14.3	21.7
Hemicelulosa	20.1	11.2	19.9	-18.6	-1.6	9.4
Digestibilidad total (%)						
Energía	90.5	83.2	76.3	86.8	80.1	71.7
ELN	94.0	88.2	82.4	92.6	87.7	80.4
N	93.3	88.0	83.0	86.0	81.3	73.7
FAD	31.8	24.0	21.8	15.2	17.6	10.4
Celulosa	37.9	31.1	29.6	10.6	13.8	1.9
Hemicelulosa	57.0	47.8	44.7	52.5	46.7	37.1
Digestión en intestino grueso						
Energía	4.0	6.7	6.2	12.1	14.1	13.0
ELN	4.1	8.6	9.7	14.7	18.7	19.8
N	4.5	2.6	1.0	-2.3	3.7	-1.2
FAD	9.3	7.4	0.6	19.2	8.4	-6.9
Celulosa	36.9	36.6	24.8	71.1	48.3	27.7

<sup>1</sup> Digestibilidad total-digestibilidad ileal

FUENTE: Février y Lachance (1988).

Février y Lachance (1988) sugirieron que el desplazamiento de los procesos digestivos en el sentido de una disminución de la digestión enzimática y un aumento de la digestión microbiana pudieran ser expresado por cambios en la evacuación estomacal y al tránsito intestinal de la digesta. Esta hipótesis no fue probada en el experimento de Février y Lachance (1988).

Mucho se ha estudiado el aprovechamiento digestivo en el cerdo de dietas con altos niveles de papa o patata a partir de haber encontrado pobres rasgos de comportamiento en los animales. En esencia la respuesta experimental ha indicado un desplazamiento de la digestión del intestino delgado al grueso debido a la incapacidad de desdoblamiento del almidón del tubérculo cuando este se suministra crudo a los animales (Cunningham et al 1963). Este efecto pudiera estar influido a su vez por factores antinutricionales presentes en ese alimento, que podrían alterar también la digestión de la proteína dietética.

Como experimento típico del cambio en el sentido de la digestión y del concurso de la microflora en la desaparición de la energía dietética pudiera presentarse el de Mason y Just (1976), quienes compararon la digestibilidad ileal y total del almidón de papa con el del maíz, en ausencia o no de 175 ppm de nebacina. Todo ello aparece resumido en la tabla 8.9.

**Tabla 8.9 Efecto de la fuente de almidón y de nebaticina en la digestibilidad ileal y total de la energía en cerdos.**

Total de dieta	Digestibilidad (%)		Digestibilidad (%)	
	Ileal	Total	Total-ileal	Porcentaje del total
Almidón de maíz				
Sin nebaticina	79.1	86.8	7.7	8.9
Con nebaticina	78.3	85.8	7.5	8.7
Almidón de papa:				
Sin nebaticina	64.8	83.4	18.6	22.3
Con nebaticina	66.5	79.0	12.5	15.8

FUENTE: Mason y Just (1976).

Un estudio de este mismo alimento hecho por Wunsche et al (1987a) permitió caracterizar la digestión en el intestino grueso del almidón de papa cruda o cocidas, o de papas ensiladas crudas o cocidas. En este laborioso experimento se comprobó muy bien cómo puede disminuir la transferencia de alimento al intestino grueso mediante la cocción de las papas (tabla 8.10). Un dato útil de tener en cuenta es que el ensilado de la papa cruda no fue efectivo para aumentar la eficiencia en la digestibilidad de los nutrientes.

**Tabla 8.10 Digestión en el intestino grueso del cerdo de dietas confeccionadas con distintos productos de papa.**

	Almidón de papa cruda	Papa cruda ensilada	Almidón de papa cocida	Papa cocida ensilada
Digestibilidad ileal (%)				
	44.9	50.0	74.0	69.0
MS	47.3	52.5	77.4	71.6
MO	70.3	52.1	69.0	69.9
N	53.1	57.8	96.9	93.5
Almidón				
Digestibilidad total (%)				
	84.4	85.9	88.4	85.8
	86.1	87.5	90.1	87.2
MS	75.8	74.8	81.5	81.0
MO	99.4	99.6	99.6	99.4
N				
Almidón				
Digestión en intestino grueso (total ileal)				
	39.5	35.9	14.4	16.8
	38.8	35.0	12.7	15.6
	5.5	22.7	12.5	11.1
MS	46.3	41.8	2.7	5.9
MO				
N				
Almidón				

FUENTE: Wunsche et al (1987a).

Un aspecto importante a tener en cuenta en el experimento de Wunsche et al (1987a), podría ser que la gran cantidad de almidón de papa que ingresó en el intestino grueso, estimuló el metabolismo y la reproducción de las bacterias cecales y cólicas, puesto que la excreción fecal de estos microorganismos creció en un 20 a 30% (tabla 8.11) y ello fue causa directa de la disminución en la digestibilidad del nitrógeno (ver tabla 8.10). Sin embargo no hubo efecto de tratamiento en la retención de nitrógeno debido a que en los cerdos que consumieron las dietas con productos de papa cruda disminuyó la excreción urinaria de este elemento.

**Tabla 8.11 Acido diaminopimélico (ADP) y N bacteriano en excretas de cerdos alimentados con distintos productos de papa.**

			Almidón de papa cruda	Papa cruda ensilada	Almidón de papa cocida	Papa cocida ensilada
Excreción fecal (mg/día)	ADP		190	164	138	136
N bacteriano			7.9	9.6	6.8	7.5
En (g/día)			83.6	81.6	82.8	75.9
En (% del total)						

FUENTE: Wunsche et al (1987).

La presencia de algún factor antinutricional en la papa cruda sería otro factor a tener en cuenta en el uso de este tubérculo en la alimentación del cerdo, de acuerdo con lo sugerido por Livingstone et al (1980). Este grupo de investigadores hallaron que si se suministraba a los animales un extracto líquido de papa liofilizada, la digestibilidad ileal del nitrógeno decrecía notablemente, trasladando al intestino grueso una fracción considerable de los compuestos nitrogenados (tabla 8.12). Este fenómeno podría evitarse al hervir ese mismo extracto. La digestión de la materia orgánica fue mayor en el intestino grueso cuando los cerdos consumieron la papa cruda.

**Tabla 8.12 Influencia de extractos de papa en la digestión de dietas en el intestino grueso del cerdo.**

Periodo	1	2	3	4	5
Dieta	Cebada	Papa cruda	Extracto liofilizado	Líquido hervido	Cebada
Digestibilidad ileal (%)					
MO	67.4	61.7	69.5	70.7	69.0
N	43.1	40.0	34.0	55.1	45.3
Digestibilidad total (%)					
MO	78.7	80.7	80.3	81.6	78.9
N	59.5	48.7	57.9	66.2	62.0
Digestión en intestino grueso (total-ileal)					
	11.3	19.0	10.8	10.9	9.9
MO	16.4	8.7	23.9	11.1	16.7
N					

<sup>1</sup> papa cruda, 22.5; extracto liofilizado, 7.2 o hervido, 7.8% en base seca respectivamente.

FUENTE: Livingstone et al (1980).

No existe al parecer una clara evidencia de que sea distinta la digestión en el intestino grueso de la parte aérea de leguminosas como la alfalfa y gramíneas como el sorgo, la hierba texana o la bermuda de costa, de acuerdo con los resultados de Keys y De Barthe (1974). Estos investigadores hallaron que al usar esas plantas en forma de harina, de forma tal que la dieta contuviera 30% de pared celular vegetal, como promedio, en el intestino grueso, se digirió un 42% del total desaparecido en el tracto gastrointestinal. Otro resultado a destacar es que la digestibilidad prececal de la hemicelulosa alcanza un 20% mientras que la de la celulosa fue nula.

**Tabla 8.13 Efecto de la fuente de pared celular en la digestión de sus distintos componentes en el cerdo.**

	<b>Alfalfa</b>	<b>Sorgo grano</b>	<b>en Hierba texana</b>	<b>Bermuda de costa</b>
Digestibilidad ileal (%)				
	38.80	41.29	37.77	46.60
MS	-4.62	-3.56	-6.32	39.42
Pared celular	-8.24	-6.32	-6.32	32.27
Celulosa	4.24	4.99	4.99	47.47
Hemicelulosa				
Digestibilidad total (%)				
	68.21	70.50	66.30	75.37
	31.98	31.24	21.61	49.81
MS	37.88	32.87	20.80	47.75
Pared celular	33.41	32.05	25.32	54.28
Celulosa				
Hemicelulosa				
Digestión en intestino grueso (total-ileal)				
	29.41	29.21	28.53	28.77
	36.57	34.80	27.93	10.39
	46.68	41.11	27.47	14.98
MS	22.93	27.81	20.33	6.81
Pared celular				
Celulosa				
Hemicelulosa				

FUENTE: Keys y De Barthe (1974).

Después de estudios como los hechos por Keys y De Barthe (1974), mucho esfuerzo investigativo se ha concentrado en la digestión de fuentes fibrosas procedentes de los granos de cereales. En estos trabajos también se ha profundizado en el tipo de entidad química constituyente de la pared celular vegetal y su destino digestivo. Puede que uno de los experimentos publicados por Bach Knudsen (1991) pudieran ser un ejemplo de esto.

Bach Knudsen (1991) formuló dietas con productos del trigo o de la avena, al considerar que ambos tipos de cereales difieren grandemente en la solubilidad de sus diferentes fracciones de la pared, lo que sugeriría que éstas podrían influir en los procesos de digestión y absorción, en mayor o menor medida, y en diferentes partes del tracto gastrointestinal.

Por ejemplo, el afrecho de trigo tiene una gran proporción de fibra insoluble y se comporta como una especie de marcador inerte dentro del canal alimentario. Por lo tanto el afrecho de trigo tiene muy poca o ninguna influencia en la digestión y absorción de nutrientes en el intestino delgado y muy resistente a la actividad microbiana en el intestino grueso del cerdo. En contraste, el afrecho de avena contiene una gran fracción de fibra soluble, que puede elevar la viscosidad de la digesta, retardando la evacuación estomacal, aumentando el tiempo de tránsito prececal de la misma digesta y reduciendo la velocidad de absorción de nutrientes en el intestino delgado. Como otras fibras solubles, las de la avena pueden ser fácilmente fermentables por las bacterias cólicas. En la tabla

8.14 se presenta la información referente a la digestibilidad ileal de los polisacáridos de dietas con productos de trigo o de avena.

La digestibilidad ileal del almidón fue prácticamente completa en ambos cereales y no hubo influencia de la fibra, fuera insoluble o soluble, en ese índice.

Por otra parte, Bach Knudsen (1991) señaló que la recuperación de los polisacáridos no almidón (PNA) del trigo al final del intestino delgado fue casi completa (90-97%) mientras que con la avena, desapareció mucho de esta entidad, fundamentalmente los beta-glucanos.

**Tabla 8.14 Digestibilidad de polisacáridos en el intestino delgado de cerdos alimentados con dietas de trigo o avena.**

	Consumo de fibra dietética	Digestibilidad (%)		
		Almidón	PNA	Betaglucanos
Experimento 1				
Harina de trigo	54	98.7	3	88
Harina y afrecho de trigo	95	98.7	10	64
Harina de trigo y afrecho de avena	95	98.6	36	75
Harina y afrecho de avena	173	97.0	34	64
Experimento 2				
Harina de avena	90	98.6	27	30
Afrecho de avena	235	98.6	18	18

FUENTE: Bach Knudsen (1991).

De acuerdo con los datos de la tabla 8.15, la desaparición de los beta-glucanos fue casi completa en el intestino grueso en comparación con los arabino-xilanos y la celulosa. Esta desaparición de los beta-glucanos se debió a la actividad microbiana en el ciego y en el colon. Por otra parte, debe asumirse que la lignificación de los otros componentes de la pared fue la mayor limitación para su degradación en el intestino grueso.

**Tabla 8.15 Digestibilidad de polisacáridos en todo el tracto gastrointestinal de cerdos alimentados con dietas de trigo o avena.**

	Consumo de fibra dietética (g/día)	Digestibilidad (%)			
		PNA	Celulosa	Beta-glucano	Arabino xilano
Experimento 1					
Harina de trigo	54	85	38	100	87
Harina y afrecho de trigo	95	62	44	100	62
Harina de trigo y afrecho de avena	95	91	83	100	90
Harina y afrecho de avena	173	92	83	100	84
Experimento 2					
Harina de avena	90	87	65	100	83
Afrecho de avena	235	88	71	100	83

FUENTE: Bach Knudsen (1991).

## Factores no nutricionales

Entre los factores no nutricionales que pueden influir en la digestión en el intestino grueso, aparece el tamaño de partícula como uno de los más importantes relacionados con la forma física de preparación del alimento. Otros factores van desde el bien conocido de la adición de antibióticos al alimento, al de la incorporación de enzimas a la ración del cerdo. A continuación se discutirán estos factores.

Wunsche et al (1987b) retomaron un tema tan estudiado periódicamente como lo es el del efecto del tamaño de partícula, aunque el mismo no ha sido tan evaluado desde el punto de vista de la función del intestino grueso. Un antecedente hecho con dietas de sorgo lo es el experimento informado por Owsley et al (1991). En el trabajo de los investigadores de Rostock se estudiaron tres tamaños de partículas y dos cereales, la cebada y el trigo. Wunsche et al (1987b) observaron que a medida que disminuía el tamaño de partícula, la digestibilidad de la materia seca y la materia orgánica tendía a ser menor en el intestino grueso, tanto en las dietas de cebada como de trigo, aunque en valores absolutos éste fue mejor que aquella (tabla 8.16). La respuesta en la digestibilidad del nitrógeno no fue muy coherente, mientras que en el intestino grueso pareció incorporarse grasa cruda a la digesta. Debe suponerse que la tendencia a una mayor participación del ciego y del colon en la digestión se debió a una mayor importancia de la digestibilidad prececal con el empequeñecimiento de las partículas alimentarias.

**Tabla 8.16 Digestión en el intestino grueso de cerdo de dietas de cebada o trigo con distintos tamaños de partículas.**

Tipo de cereal	CEBADA			TRIGO		
	Grueso	Mediano	Fino	Grueso	Mediano	Fino
Digestibilidad ileal (%)						
	64.4	68.3	71.0	77.0	81.6	83.1
MS	66.9	70.8	73.2	78.5	83.4	84.8
MO	63.7	70.2	75.1	74.2	75.0	79.7
N	42.5	55.8	52.1	32.3	49.2	52.7
Extracto etéreo						
Digestibilidad total (%)						
	73.2	75.8	78.8	86.1	88.0	89.3
	75.0	77.7	80.4	87.5	89.6	90.6
MS	69.5	77.8	82.0	85.2	87.9	89.6
MO	32.5	47.8	50.6	34.4	46.4	55.9
N						
Extracto etéreo						
Digestión en intestino grueso (total ileal)						
	8.8	7.5	7.8	9.1	6.4	6.2
	8.1	6.9	7.2	9.0	6.2	5.8
	5.8	7.6	6.9	11.0	12.9	10.3
MS	-10.0	-88.0	-1.5	2.1	-2.9	3.2
MO						
N						
Extracto etéreo						

FUENTE: Wunsche et al (1987b).

La inclusión en la dieta de un antibiótico promotor del crecimiento como la virginiamicina determinó una mejoría en la digestibilidad ileal de nutrientes en los cerdos, lo que a su vez determinó una menor desaparición de materiales en el intestino grueso (tabla 8.17). Un estudio en un asa aislada hecha

por los mismos investigadores belgas determinó un efecto igualmente positivo en el intestino delgado de los animales (ver CAPITULO VII).

**Tabla 8.17 Digestión en el intestino grueso de nutrientes de dietas sin o con virginiamicina.**

	Virginiamicina (ppm)	
	0	50
Digestibilidad (%)		
Materia seca	68.6	74.0
Materia orgánica	72.9	77.3
N	79.6	81.4
Grasa cruda	78.4	81.9
Fibra cruda	-2.0	15.9
Ceniza	2.9	21.4
ELN	75.0	78.7
Digestibilidad total (%)		
Materia seca	84.1	84.8
Materia orgánica	93.2	92.3
N	91.0	90.6
Grasa cruda	88.6	85.5
Fibra cruda	24.5	17.0
Ceniza	68.1	65.7
ELN	47.8	97.6
Digestión en el intestino grueso		
	15.5	10.8
Materia seca	20.3	15.0
Materia orgánica	11.4	9.2
N	10.2	3.6
Grasa cruda	27.1	1.1
Fibra cruda	65.2	44.3
Ceniza	22.8	18.9
ELN		

FUENTE: Graham et al (1988).

Graham et al (1988) demostró que la digestión en el intestino grueso puede modificarse si se añade una mezcla de beta-glucanasa y xilanasa a una dieta rica en PNA. En este sentido la preparación de enzimas degradó in vitro los beta-glucanos y solubilizó las arabino-xilanos.

Por otra parte la dieta con el preparado enzimático no tuvo efecto en la digestibilidad total de nutrientes, pero sí lo fue en la digestibilidad ileal (tabla 8.18).

Graham et al (1988) sugirieron que este efecto beneficioso pudiera ser muy conveniente en la alimentación de animales jóvenes.

**Tabla 8.18 Efecto de la inclusión de un preparado enzimático en la digestión en el intestino grueso del cerdo.**

	<b>- enzimas</b>	<b>+ enzimas</b>
<b>Digestibilidad ileal (%)</b>		
Materia seca	53.1	55.6
Energía	55.9	58.2
Ceniza	-32.9	-22.5
N	64.5	70.1
Grasa cruda	60.0	65.5
Almidón	92.0	94.9
PNA total	12.2	13.2
Arabinosilanos	1.7	2.1
Celulosas	9.6	5.5
Beta-glucanos	40.1	58.6
<b>Digestibilidad total (%)</b>		
Materia seca	74.8	76.9
Energía	73.7	76.7
Ceniza	12.6	13.5
N	79.4	81.2
Grasa cruda	56.9	58.8
Almidón	99.2	99.6
PNA total	52.4	55.6
Arabinosilanos	47.4	50.3
Celulosas	34.3	37.8
Beta-glucanos	99.5	99.7
<b>Digestión en el intestino grueso (total-ileal)</b>		
Materia seca	21.7	21.2
Energía	17.8	18.5
Ceniza	45.5	36.0
N	14.9	11.1
Grasa cruda	-3.1	-6.7
Almidón	7.2	4.7
PNA total	40.2	42.4
Arabinosilanos	45.7	48.2
Celulosas	24.7	32.3
Beta-glucanos	59.4	41.1

FUENTE: Graham et al (1988).

### **Métodos de estudio de la digestión en el intestino grueso**

Entre los métodos de estudio de la función cecal o cólica se ha utilizado la resección del ciego o de todo el intestino grueso y el desarrollo de técnicas de incubación in vitro, entre las más interesantes. En el caso de los cerdos ileorectomizados, se han convertidos como exponentes de un método corriente para estudiar la digestibilidad prececal y postileal. La técnica de resección del ciego se ha usado para estudiar la función cecal en distintas ocasiones (Lloyd et al 1958; Gargallo y Zimmerman 1981). En estudios tan distantes en el tiempo como los dos mencionados, no se halló cambios en la digestibilidad de los distintos tipos de dietas probadas. Algunos de los datos publicados por Gargallo y Zimmerman (1981) se presentan en la tabla 8.19.

**Tabla 8.19 Efecto de la celulosa dietética en la digestibilidad de materia seca (en %) en cerdos intactos o cecotomizados.**

		Celulosa (%)					
Niveles de celulosa	de	2		10		18	
Presencia ciega	de	+	-	+	-	+	-
Días en experimento							
		81.1	80.	73.3	74.3	66.3	69.1
1 a 12		84.0	9	77.7	78.0	71.9	72.3
13 a 28		84.8	84.	78.7	80.3	74.1	75.6
28 a 40		83.3	0	76.6	77.5	70.8	72.3
Media			83.				
			1				
			82.				
			7				

FUENTE: Gargallo y Zimmerman (1981).

El grupo de Breves ha puesto en práctica una técnica de incubación in vitro continua de contenido ceco-cólico con el objetivo de estudiar la función de esta región del tracto. Algunos de los datos relacionados con la influencia del tiempo de retención de partículas en el contenido incubado se muestran en la tabla 8.20. Estos datos han demostrado claramente que la digestibilidad de distintos nutrientes está altamente influida por la extensión del período de digestión.

**Tabla 8.20 Índices fermentativos y tiempo de retención de partículas en sistemas de incubación in vitro de contenido cecal porcino.**

		Tiempo de retención de partículas (h)	
		24	48
Índices			
pH		5.91	6.11
Producción (mmol/día)	de AGCC	6.7	5.4
Digestibilidad (%)		28.0	41.0
MO		6.7	29.0
Celulosa		19.9	34.6
Hemicelulosa			

FUENTE: Breves et al (1991).

## REFERENCIAS.

- Bach Knudsen KE. 1991. Proc. 5 th Int. Sem. Dig. Physiol. Pig. (MWA Verstegen, J Huisman y LA den Hartog ed.) Pudoc. Wageningen p. 428-433.
- Bentley RJ y Smith MW. 1975. J. Physiol. 249:103-117.
- Breves G, Dreyer J y Oslage HJ. 1991. Adv. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 22:89-92.
- Cunningham HM, Friend DW y Nicholson JWG. 1963. Can. J. Anim. Sci. 43:215
- Decuypere JA, Dierick NA, Vervaeke IJ y HK Henderickx. 1991. Arch. Anim. Nutr. Berlin. 41:373-391.
- Février C y Lachance B. 1988. J. Rech. Porcine France. 20:361- 368.
- Gargallo J. y Zimmerman DR. 1981. J. Anim. Sci. 53:395-402.
- Graham H, Lowgren W, Petterson D y Aman P. 1988. Nutr. Rep. Inst. 38:1073-1079.
- Hecker JF y Grovum WL. 1975. Aust. J. Biol. Sci. 28:161-167.
- Jorgensen H, Fernández JA y Just A. 1985. Beret. Sta. Husdyrbrugst Kobenhavn p. 352-355.
- Keys JD y DeBarthe JV. 1974. J. Anim. Sci. 39:53
- Kim KI, Jewell DE, Benevenga NJ y Grummer RH. 1978. J. Anim. Sci. 46:1658
- Livingstone RM, Baird BA, Atkinson T y Crosfts RMJ. 1980. J. Sci. Food. Agric. 31:695-700.
- Lloyd LE, Dale DG y Crampton EW. 1958. J. Anim. Sci. 17:684-692.
- Mason VC y Just A. 1976. Z. Tier physiol. Tierernahr. Futtermittelk. 36:301
- Mason VC. 1979. Nat. Inst. Res. Dayring. Tech. Bull 3. Reading p. 112-129.
- Muller HL y Kirchgessner M. 1986. Pig News Inf. 7:419-424.
- Owsley WF, Knabe DA y Tanksley Jr TD. 1981. J. Anim. Sci. 52:557- 566.
- Tokach MD, Nelssen JL y Allee GL. 1989. J. Anim. Sci. 67:1307-1312.
- Theodorou V, Fioramonti J y Bueno L. 1989. Quat. J. Exp. Physiol. 74:521-529.
- Wunsche m. Nutr. Berlin 37:169-188.
- Wunsche J, Herrmann U, Meinl M, Hennig U, Kreienbring F y Zwierz P. 1987b. Arch. Anim. Nutr. Berlin 37:745-764.
- Zebrowska T. 1973. Roczn. Nauk Roln. B95:85 n en el intestino grueso.

## CAPITULO IX

**La microflora del tracto gastrointestinal del cerdo. Interdependencia entre digestión enzimática y digestión microbiana. Formas de manipulación de la digestión microbiana. Digestión de la pared celular. Métodos de estudio de la microbiología del tracto gastrointestinal y de la digestión de la fibra en el cerdo.**

### **Introducción**

Se ha afirmado no sin razón que la microflora del tracto gastrointestinal es muy compleja y que está muy involucrada en los procesos digestivos (Ratcliffe 1991). También se ha dicho que esta microflora varía en cantidad y en especie dentro del mismo intestino grueso, por lo que pudiera decirse que la microflora cecal es distinta a la cólica o la rectal, lo que a su vez hace prever en cuán diferente es esta microflora de la gástrica. Por otra parte, se sabe que muchos de los microorganismos son muy activos en la digesta como tal, mientras que otros están íntimamente asociados a las células epiteliales de la mucosa, tanto en los villi como en los criptas de Lieberkuhn. También se conoce que las distintas especies bacterianas pueden ser estrictamente anaeróbicas, o anaeróbicas facultativas.

Por otra parte, la microflora del tracto gastrointestinal se puede adaptar a cambios en la dieta y su participación en la digestión de la pared celular es decisiva, por poseer beta-glucosidasas. Estos temas serán vistos a continuación.

### **Interdependencia entre digestión enzimática y digestión microbiana**

Pudiera pensarse que a primera vista, la digestibilidad prececal es estrictamente una digestión hecha por las enzimas segregadas en el canal alimentario del cerdo y que a continuación en la digestión posileal tendrá lugar un proceso inicialmente microbiano, lo que se podrá entender como dos procesos digestivos en secuencia, uno primero y otro después. Sin embargo, ya desde el estómago hay una participación microbiana en los procesos digestivos, lo que niega la validez de esta hipótesis.

### **Procesos fermentativos en el estómago**

Se reconoce que al nacer, el cerdito posee un tracto gastrointestinal estéril, pero que en contacto con la madre y el ambiente que le rodea, el animal se contamina rápidamente. Los lactobacilos y estreptococos se instalan fácilmente en el estómago y gracias a la ingestión frecuente de leche, se estabiliza allí una población bacteriana que tiene a la lactosa como su principal sustrato. Esta microflora origina una cantidad de ácidos orgánicos nada despreciable, dentro de los cuales, el ácido láctico es predominante. En este sentido Cranwell et al (1976) observaron que el ácido láctico representó el 80-100% del total de ácidos orgánicos contenidos en la digesta gástrica, los cuales fueron en esencia ácidos grasos de cadena corta (AGCC). Se ha observado que en animales con más edad el ácido láctico aún sigue siendo el predominante (Clemens et al 1975) pero en menor proporción (50%). En estudios contemporáneos a los anteriores, Slivitskii (1973, 1975) encontró la misma tendencia de un predominio del ácido láctico entre los ácidos orgánicos presentes en el contenido gástrico. Slivitskii observó igualmente que había variaciones temporales en la concentración de estos ácidos, así como un efecto del lugar de muestreo en este indicador fermentativo (tabla 9.1).

**Tabla 9.1 Niveles de ácidos orgánicos (en mmol/100 ml) en la digesta estomacal de cerdos.**

<b>Hora después de comida</b>	<b>Capa de la digesta</b>	<b>Acido láctico</b>	<b>AGCC</b>	<b>Total de ácidos orgánicos</b>
4	Superior	86	105	191
	Media	35	75	110
	Fúndica	31	36	37
8	Superior	311	294	305
	Media	169	150	319
	Fúndica	48	58	106
12	Superior	499	400	899
	Media	251	248	499
	Fúndica	51	107	158

FUENTE: Slivitskii (1973, 1975).

Se ha propuesto que la producción gástrica de ácido láctico está relacionada con la secreción de HCl, puesto que el hidrogenión parece ser el mensajero que estimula la inhibición secretora de las correspondientes células de la mucosa (ver Ratcliffe 1985).

De todas formas tanto el ácido láctico como el HCl contribuyen en igual medida en el descenso del pH estomacal, lo cual es esencial para la acción de las proteasas y para que la digesta del estómago se comporte como una barrera bactericida para muchas entidades patógenas, incapaces de proliferar en un medio netamente ácido.

Existen efectos dietéticos evidentes en la actividad microbiana gástrica. Al parecer se acepta que la presencia de monosacáridos y disacáridos libres en el alimento aumenta la actividad fermentativa en el órgano (Ly y Boucourt 1975) o modifica la proporción: ácido láctico: AGCC en la digesta (Friend et al 1963 ab). Por otra parte, el hecho de suministrar papa cruda o cocida a los cerdos determinó que el sitio de mayor actividad fermentativa sea el intestino grueso o el estómago respectivamente (tabla 9.2).

**Tabla 9.2 Monto de ácidos orgánicos en el tracto gastrointestinal (en mmol) de cerdos alimentados con papa cruda o cocida.**

	<b>Papa cruda</b>		<b>Papa cocida</b>	
	<b>AL</b>	<b>AGCC</b>	<b>AL</b>	<b>AGCC</b>
Estómago	99.8	84.6	214.1	76.3
Intestino delgado	29.7	29.6	36.7	24.3
Ciego	0.2	72.2	0.1	53.1
Colon	0.9	400.0	0.5	188.3
Recto	0.1	19.9	0.1	6.3

FUENTE: Ledinek (1970).

### **Procesos fermentativos en el intestino delgado**

Al igual que en el estómago el ácido láctico es el ácido orgánico predominante, mientras que entre los AGCC lo es el acético. Como ha indicado Ratcliffe (1985), es muy difícil cuantificar la producción y absorción de los ácidos orgánicos en el intestino delgado; de hecho la cantidad presente en la digesta solamente refleja la diferencia entre estos procesos. De acuerdo con datos de digestibilidad ileal la hemicelulosa es la fracción de la pared celular que desaparece en mayor proporción entre la

boca y la válvula ileocecal (ver CAPITULO I). Igualmente es probable que la fracción soluble de la pared, constituida por compuestos del tipo del ácido poligalacturónico sufran una fermentación de importancia en la misma zona del tracto. Dentro de la misma línea de pensamiento, los carbohidratos de estructura simple que como tales ingresan en el duodeno, pueden ser fermentados parcialmente a pesar del corto período de retención de digesta en el intestino delgado.

Una aproximación diferente al estudio de la actividad de la microflora en el canal alimentario, el intestino delgado comprendido, podrá ser la determinación de la carga de energía como adenilato (CEA) tal como la ha estudiado Jensen (1987):

$$CEA = (ATP + 1/2 ADP) / (ATP + ADP + AMP)$$

Jensen (1987) determinó la CEA en dietas con varios componentes botánicos del grano de trigo, y halló que este indicador fue máximo en el estómago y en el intestino delgado (alrededor de 0.8) y fue decreciendo hasta el final del intestino grueso (0.2). Según Jensen (1987) se suele aceptar que el valor de CEA es importante en el control de las vías catabólicas y anabólicas, y que muchos estudios han demostrado que ciertos rangos de CEA se correlacionan con condiciones fisiológicas. Es así que la CEA tiene un valor máximo de 1.0 cuando todo el adenilato está en forma de ATP, y mínimo cuando este nucleótido está en forma de AMP. De esta manera los valores de 0.8-0.9 representan una actividad de crecimiento y reproducción de los microbios en condiciones óptimas. Valores en el rango de 0.5-0.7 han sido medidos en condiciones sub-óptimas, mientras que un índice por debajo de 0.5 se ha asociado con una pérdida irreversible de viabilidad en condiciones deletéreas. Así es que los valores de CEA en el intestino delgado pudieran señalar que aunque la densidad de la población bacteriana es baja allí (baja concentración de ATP), el suministro de nutrientes es pleno y los microorganismos se encuentran en un estado metabólico muy activo. Lo contrario podrá ocurrir en el intestino grueso tal vez por la poca disponibilidad de carbohidratos fácilmente fermentables (tabla 9.3).

**Tabla 9.3 Valores de CEA en el intestino delgado y otras secciones del tracto gastrointestinal del cerdo.**

	Harina de trigo +			
	Ninguna fracción	Fracción aleurona	Fracción pericardio y testa	Fracción y rica en afrecho
Fibra dietética (%)	3.34	5.33	6.20	6.19
PNA (%)	2.95	4.80	5.37	5.38
CEA				
Estómago (región cardial)	0.88	0.74	0.83	0.88
INTESTINO DELGADO				
	0.91	0.82	0.82	0.94
	0.86	0.86	0.89	0.93
Región próxima	0.62	0.66	0.79	0.85
Región distal				
Ciego				
INTESTINO GRUESO				
	0.35	0.58	0.62	0.71
	0.24	0.50	0.55	0.56
	0.36	0.39	0.35	0.38
Región próxima				
Región media				
Región distal				

FUENTE: Jensen (1987).

Desde el punto de vista del virtual ataque microbiano de la microflora a los compuestos nitrogenados en el intestino delgado, es poco probable que los aminoácidos dietéticos sufran transformaciones tales que los hagan indigestibles para el cerdo, lo que no tiene que ser necesariamente igual en el caso de la urea, las secreciones intestinales y las descamaciones del epitelio del órgano (Ratcliffe 1985).

Tal vez el aspecto más digno de tener en cuenta sea la influencia de la actividad microbiana en la digestión de lípidos, tanto por acción de las lipasas bacterianas en los lípidos dietéticos y endógenos, como por biohidrogenación de los ácidos grasos, la desconjugación de los ácidos biliares y las modificaciones del metabolismo del colesterol.

En lo concerniente al metabolismo de los ácidos biliares, se ha sugerido que éstos son alterados en gran medida por las bacterias intestinales. De acuerdo con lo anterior, los ácidos biliares libres que se producen a partir del colesterol hepático se suelen conjugar con taurina o glicina, o tal vez con sulfato o un glucurnido, para constituir los ácidos biliares primarios. Estos son rápidamente desconjugados por los lactobacilos intestinales para formar ácidos biliares secundarios, los cuales pueden ser menos activos en la formación de micelas o menos solubles. A su vez los ácidos biliares terciarios formados por la interacción entre la microflora y enzimas hepáticas pueden ser tóxicos. A este respecto Eyssen et al (1975, citados por Ratcliffe 1985) examinaron la proporción de sales biliares en bilis y heces en cerdos libres de gérmenes y convencionales que recibieron una dieta láctea (tabla 9.4). Los resultados señalaron que las bacterias intestinales produjeron cambios en la proporción de ácidos biliares aún en la vesícula biliar mediante el reciclado de los ácidos biliares secundarios.

**Tabla 9.4 Proporción de ácidos biliares en bilis y excretas de cerdos libres de gérmenes (LG) y convencionales (C).**

	Bilis		Excretas	
	Cerdos LG	Cerdos C	Cerdos LG	Cerdos C
Acido biliar				
Quenodeoxicólico	0.21	0.12	0.21	0.06
Hiocólico	0.74	0.47	0.74	0.10
Hiodeoxicólico	0.05	0.41	0.05	0.64
Litocólico	----	trazas	----	0.16

FUENTE: Eyssen et al (1975, citados por Ratcliffe 1985).

### **Procesos fermentativos en el intestino grueso**

El intestino grueso se caracteriza por ser la parte del tracto gastrointestinal donde mayor tiempo reside la digesta, que a su vez se caracteriza por ser una mezcla de residuos alimentarios que han escapado de la digestión enzimática en el intestino delgado, junto con restos de secreciones digestivas, descamaciones celulares y cierta masa bacteriana. La digestión posileal o sea, la digestión que ocurre en el intestino grueso, es esencialmente microbiana.

Un gran número de bacterias se multiplican y proliferan desde el ciego hasta el recto en un medio estrictamente anaerobio. Existen diferencias entre la microflora cecal y la cólica, que a su vez no parece diferenciarse de la rectal, donde las especies Gram positivas *Streptococcus* y *Eubacterium* constituyen el 90% de toda la población bacteriana, de acuerdo con Slanitz et al (1977) y Rusell (1979), según ha comentado Ratcliffe (1985). En la tabla 9.5 se muestran las principales especies bacterianas del contenido cecal.

**Tabla 9.5 Especies bacterianas del contenido cecal en el cerdo.**

<b>ESPECIE</b>	<b>Porcentaje total</b>
Gram negativa	
Bacteroides ruminicola	35.0
Selenomonas ruminantium	21.0
Butyrivibrio fibrisolvens	6.0
Bacteroides iniformis	3.0
Gram positiva	
Lactobacillus acidophilus	7.6
Peptostreptococcus productus	3.0
Eubacterium aerofaciens	2.5

FUENTE: Robinson et al (1981, citados por Ratcliffe 1985).

La contribución de la microflora del tracto y probablemente con predominio de la del intestino delgado, pudiera representar tal vez como mínimo un décimo de la ED de la dieta de los cerdos en alimentos convencionales (10.8% según Zhu et al 1993), y en otras vías en polisacáridos fermentables pudieran ser más de un quinto de esa ED, 23% según Zhu et al (1993) en dietas de pulpa de remolacha azucarera no melazada. Estas cifras justifican la convicción de que es necesario tener en cuenta la digestión de la energía en el ciego y en el colon de los cerdos para pronosticar sus rasgos de comportamiento (CAPITULO I).

Uno de los aspectos más estudiados de la actividad metabólica de la microflora del intestino grueso lo constituye la degradación de los componentes de la pared celular de las plantas, y dentro de estos componentes, la celulosa en especial, puesto que carbohidratos estructurales menos insolubles como la hemicelulosa y las pectinas, así como compuestos similares, pueden sufrir cierta descomposición prececal. Todo este proceso fermentativo contribuirá en cierta medida al metabolismo energético del cerdo mediante la absorción intestinal de los productos finales del catabolismo microbiano, los ácidos grasos de cadena corta (AGCC), entre los que predomina el ácido acético sobre el ácido propiónico y el butírico, fundamentalmente (ver Cranwell 1968; Rrat 1978). La absorción de los AGCC parece ser muy eficiente puesto que acorde con lo informado por Kirchgessner y Muller (1991), la excreción fecal de estos es muy baja, no más del 1-2% de la energía infundida intracecalmente (tabla 9.6).

**Tabla 9.6 Excreción fecal de AGCC en cerdos tras una infusión de carbohidratos.**

	<b>Celulosa</b>	<b>Pectin</b>	<b>Almidón</b>	<b>Lactosa</b>	<b>Xilosa</b>
		<b>a</b>			
Energía infundida (MJ/día)	8.9	5.1	8.3	8.4	8.6
Fermentación (%)	53	89	94	92	94
Excreción fecal de AGCC (% de energía infundida)					
	1.2	0.9	0.7	0.8	0.8
Acido acético	0.5	0.4	0.4	0.6	0.7
Acido propiónico	0.4	0.1	0.1	0.3	0.2
Acido butírico					

FUENTE: Kirchgessner et al (1987).

Al revisar el tema de la eficiencia de la utilización de los AGCC para la síntesis de grasa corporal, Kirchgessner y Muller (1991) han indicado que el valor medio estimado a partir de los resultados experimentales de varios investigadores (68%) está muy cerca del valor teórico propuesto por Baldwin (1968) equivalente a 70%. Esto significará que al comprobar esta cifra con la obtenida para la glucosa o el almidón, ascendente a 75-77% se obtendrá una diferencia a favor de la glucosa de un 10%, lo que apoya numéricamente la predicción de una menor disponibilidad de energía para el cerdo a partir de la digestión microbiana de carbohidratos, en comparación con la digestión enzimática. Por otra parte Kirchgessner et al (1987) hallaron que la proporción de energía retenida a partir de la fermentada en el intestino grueso fue como promedio un 57% (tabla 9.7). Este dato se obtuvo al infundir intracecalmente varios carbohidratos en cerdas adultas. Como se muestra en la tabla 9, la energía fermentada se transforma en energía corporal entre un 41% y un 66%.

**Tabla 9.7 Estimación de la energía fermentada a partir de la energía digestible aparente y el nitrógeno fecal en cerdos.**

	<b>Celulo sa</b>	<b>Pecti na</b>	<b>Almidó n</b>	<b>Lactos a</b>	<b>Xilos a</b>	<b>Caseín a</b>
EB infundida (MJ/día)	8.92	5.10	8.28	8.42	8.57	12.45
ED aparente (MJ/día) <sup>1</sup>	4.04	3.97	7.17	6.94	7.28	10.78
N fecal (g/día)	3.42	3.06	3.58	4.67	4.41	5.98
E microbiana (MJ/día) <sup>2</sup>	0.47	0.49	0.51	0.68	0.65	0.85
E fermentada (MJ/día) <sup>3</sup>	4.69	4.53	7.79	7.76	8.07	11.75
E fermentada/EB (%)	53	89	94	92	94	94
E retenida/E fermentada (%)	41	49	65	66	64	43

<sup>1</sup> ED aparente= EB - (E no fermentada + E microbiana + AGV fecal); <sup>2</sup> Composición de las bacterias: N, 11%; E, 22 KJ/g MÁS; N bacteriano, 70-80% del N fecal; <sup>3</sup> Se deriva de <sup>1</sup>.

FUENTE: Kirchgessner et al (1987).

Junto con la producción de AGCC, en el intestino grueso de los cerdos se produce metano e hidrógeno, que como es sabido, son portadores energéticos que no pueden ser utilizados por el animal, y por lo tanto contribuyen a las pérdidas de energía durante el proceso fermentativo. En un estudio hecho por Zhu et al (1993) se midió la producción de estos dos gases en cerdos alimentados con una dieta de cereales sin o con la suplementación de pulpa de remolacha azucarera no melazada. Adicionalmente se evaluó el efecto producido por el tratamiento con antibióticos. En la tabla 9.8 se exponen algunos aspectos de los experimentos hechos en Aberdeen. De acuerdo con esta información la producción de metano, aunque pequeña puede casi duplicarse cuando se cambia una dieta de cereales por otra en la que además de estos, está presente la pulpa de remolacha. De esta forma la producción de metano puede ascender a algo más del 1% de la ED dietética.

**Tabla 9.8 Producción diaria de hidrógeno y metano y valores estimados estequiométricamente de la producción de AGCC y energía fermentada (EF) en cerdos.**

<b>Tipo de dieta</b>	<b>Cereales</b>	<b>Cereales + pulpa de remolacha</b>
Hidrógeno (L/día)	1.01	2.13
Metano (L/día)	2.35	5.13
Acetato (MJ/día)	0.169	0.362
Propionato (MJ/día)	0.121	0.248
Butirato (MJ/día)	0.122	0.277
EF (MJ/da)	0.537	1.164
Consumo de ED (MJ/día)	15.16	18.14
Metano/ED (%)	0.62	1.13
AGCC/ED (%)	2.72	4.89
EF/ED (%)	3.54	6.42

FUENTE: Zhu et al (1993).

El total de compuestos nitrogenados que ingresa en el intestino grueso es utilizado por la microflora cecal y cólica para incorporarlos parcialmente en su propia masa celular y además en un proceso decarboxilativo o deaminativo de los aminoácidos allí presentes. Los compuestos nitrogenados resultantes, aminos y amoníaco pueden ser absorbidos por el animal sin ningún aprovechamiento para el mismo, puesto que estos compuestos serán eliminados fundamentalmente por la vía urinaria después de tener lugar un costoso proceso de desintoxicación hepática. En la tabla 9.9 pueden verse resultados de un experimento hecho por Michel (1966) que ilustra lo anterior.

**Tabla 9.9 Degradación de aminoácidos esenciales por la microflora cecal del cerdo.**

	Alfa-amino N liberado (%)	Desaparición del aminoácido (%)	Compuestos nitrogenados formados además de NH <sub>3</sub>
Arginina	188	72	Agmatina, ornitina, citrulina,
Histidina	32	98	putrescina
Isoleucina	33	42	Acido urónico, histamina
Leucina	41	52	-----
Lisina	12	21	-----
Metionina	10	20	Cadaverina
Fenilalanina	11	30	-----
Treonina	70	62	-----
Triptófano	10	15	-----
Valina	25	34	Indol, triptamina
			-----

FUENTE: Michel (1966).

### Formas de manipulación de la digestión microbiana

La evidencia experimental ha indicado que el uso de antibióticos es apropiado para manipular la digestión microbiana, si se busca aumentar el aprovechamiento digestivo de la dieta o disminuir la absorción de sustancias nocivas para el animal.

Algunos resultados del empleo de antibióticos en índices digestivos han sido presentados ya (ver CAPITULO VII), en los cuales está claro que el sitio de digestión puede cambiar con el empleo de distintos tipos de alimentos.

Aún dentro de la misma sección del tracto gastrointestinal, los antibióticos disminuyen la actividad microbiana, si la producción de ácidos orgánicos es el reflejo directo de lo mismo.

Por otra parte, también se ha demostrado que los distintos componentes de la dieta también pueden modificar la digestión tanto enzimática como microbiana. Como ejemplo de lo anteriormente dicho, en la tabla 9.10 se brinda información sobre el efecto de la virginiamicina en la producción de AGCC cólicos de cerdos, así como de distintos tipos de procesamientos del alimento.

**Tabla 9.10 Efecto de la virginiamicina o de la paja de cebada en la producción cólica de AGCC en cerdos (en mmol/h/kg de digesta seca)**

Efecto de la dieta	Acido acético	Acido propiónico	Acido butírico	AGCC
Dieta básica	68	34	16	120
Paja de cebada (15%)				
Sin tratar	79	38	15	129
Tratada con NH <sub>3</sub>	79	36	16	129
Tratada con NaOH	92	39	19	147
Efecto de antibiótico				
Sin tratamiento	74	41	20	148
Con tratamiento	64	34	15	120

FUENTE: Fernández et al (1985).

Desde el ángulo de la prevención de la presencia de aminas en la digesta gastrointestinal, el efecto de antibiótico también es notorio. En el trabajo de Dierick et al (1986) se halló que las cantidades mayores de aminas se presentaron en el intestino delgado próximo y medio, donde el pH es ácido y hay una gran cantidad de aminoácidos libres, lo que favorece su decarboxilación. Como se hace evidente en la tabla 9.11, el tratamiento con antibióticos pareció ser muy efectivo.

**Tabla 9.11 Influencia de la virginiamicina (V) y de la espiramicina (E) en la concentración de aminas (mmol N/g MS) en el contenido digestivo de cerdos.**

		Estómago	Intestino delgado			Ciego	Recto
			Próximo	Medio	Distante		
Histamina	C	---	3.3	1.7	1.5	0.6	0.1
	V	0.1	0.4	0.5	0.3	0.1	0.
	S	---	0.6	0.5	0.3	0.4	0.2
Putrescina	C	0.1	0.2	0.3	0.2	0.7	0.1
	V	0.1	0.1	0.2	0.3	0.7	0.1
	S	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1
Cadaverina	C	0.3	11.2	6.7	5.4	1.5	0.4
	V	0.0	0.4	1.1	2.3	1.0	0.3
	S	0.1	0.5	0.5	0.4	0.6	0.1
Tiramina		0.2	1.5	2.2	0.2	0.4	0.3
	C	0.2	3.3	1.9	1.4	0.4	0.0
	V	0.1	2.3	0.6	0.4	0.1	0.1
Total		0.6	16.2	10.9	8.4	3.2	0.8
	C	0.4	4.2	5.0	7.0	2.2	0.5
	V	0.3	3.6	1.7	1.2	1.3	0.5

FUENTE: Dierick et al (1986).

## Digestión de la pared celular

La digestión de la pared celular ha sido tratada ya cuando se estudiaron los procesos digestivos que tienen lugar en el estómago y los intestinos, y aquí solamente se resume lo ya visto.

Como es sabido la pared celular de los vegetales está constituida por los polisacáridos que no son almidón (PNA) y la lignina. En una revisión de este tema Low (1985) ha hecho hincapié al igual que otros, en que la complejidad de tanto sus propiedades físicas como las químicas hacen muy difícil un análisis detallado, tanto desde el punto de vista de lo reproducible como de lo preciso. Low (1985) ha señalado que las secreciones gástricas, intestinales y pancreáticas se elevan en el cerdo como consecuencia directa de aumentar el nivel de fibra en el alimento: en particular se incrementa la secreción de nitrógeno y esto hace disminuir la digestibilidad aparente de los compuestos nitrogenados.

En general, la velocidad de absorción de nutrientes disminuye con más fibra en la comida, de manera que decrece el monto de energía que se absorbe en el intestino delgado, cosa que es más pronunciado en las grasas y compuestos nitrogenados.

Otro aspecto interesante en el uso de alimentos fibrosos en la dieta de los cerdos es que la fermentación de la fibra en el intestino grueso se incrementa con la edad (tabla 9.12). A la vez, los productos portadores de energía que puede usar el cerdo, los AGCC, son absorbidos y metabolizados contribuyendo así con una fracción no grande, pero importante, al metabolismo energético del animal.

**Tabla 9.12 Porcentaje del efecto del nivel de fibra cruda dietética en la digestibilidad de nutrientes en cerdos con diferentes pesos.**

	Peso (kg)	Fibra cruda (%)		
		5	10	17
Nitrógeno	20	81	71	55
	90	86	80	73
	225	85	80	72
Grasa total	20	62	53	55
	90	64	61	65
	225	65	61	63
Fibra cruda	20	42	30	26
	90	49	44	32
	225	39	47	45
Energía	20	81	70	56
	90	83	75	61
	225	82	76	66

FUENTE: Fernández et al (1979).

## Métodos de estudio de la microbiología del tracto gastrointestinal

Los métodos de trabajo para estudiar la microbiología gastrointestinal en los cerdos pudieran dividirse en los estrictamente bacteriológicos, lo que implica el cultivo, identificación y metabolismo de las distintas especies microbianas, y los relacionados con la evaluación de los procesos fermentativos. Estos últimos pudieran a su vez clasificarse como los que utilizan animales provistos de cánulas o sacrificados, y los últimos en aplicación, o sea los estudios in vitro. Todos estos métodos han sido referidos en esta y lecciones anteriores y son los recomendables en el estudio de la interdependencia entre la microflora gástrica e intestinal y el aprovechamiento eficiente de la dieta.

## REFERENCIAS

- Clemens ET, Stevens CE y Southworth M. 1975. *J. Nutr.* 105:759-768
- Cranwell PD. 1968. *Nutr. Abstr. Rev.* 38:721-730
- Cranwell PD, Noakes DE y Hill KJ. 1976. *Brit. J. Nutr.* 36:71-86.
- Dierick NA, Vervaeke IJ, Decuypere JH y Henderick HR. 1986. *Livest. Prod. Sci.* 14:177-193.
- Fernández JA, Just A y Jorgensen H. 1979. EAAP 30th Ann. Meet. Harrogate. Paper p5.7.
- Fernández JA, Jorgensen H, Just A y Andersen JO. 1985. *Beretrn. Sta. Husdyrbrugs Kobenhavn* p. 284-287.
- Friend DW, Cunningham HM y Nicholson JWG. 1963a. *Canad. J. Anim. Sci.* 43:
- Friend DW, Cunningham HM y Nicholson JWG. 1963b. *Can. J. Anim. Sci.* 43:156-
- Jensen BB. 1987. 38th Ann. Meet. Europ. Ass. Anim. Prod. Lisboa pp.6
- Kirchgessner M, Muller HL, Roth FX, Ascheri R y Erhardt W. 1987. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 58:241-253.
- Kirchgessner M y Muller HL. 1991. *Adv. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* No.22 p 41-66.
- Ledinek M. 1970. Tesis. Ludwig-Maximilians-Universitat Munchen pp 101.
- Low AG. 1985. *Beretrn. Sta. Husdyrbrugs. Kobenhavn* p. 157-179.
- Ly J y Bocourt R. 1975. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 9:149-162.
- Michell MC. 1966. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys* 6:33-
- Ratcliffe B. 1985. *Beretrn. Sta. Husdyrbrugs. Kobenhavn* p. 245-267.
- Ratcliffe B. 1991. *Cab. Int. Wallingford* p. 19-34
- Rrat A. 1978. *J. Anim. Sci.* 46:1808-1837.
- Slivitskii MG. 1973. *Svinovodstvo* 26:74-80
- Slivitskii MG. 1975. *Vest. Selkolj. Nauk* 7:75-80.
- Zhu JQ, Fowler VR y Fuller MF. 1993. *Brit. J. Nutr.* 69:511-525.

## CAPITULO X

### **Absorción intestinal en el cerdo. Transporte a través de membrana. Métodos in vivo e in vitro para estudiar la absorción intestinal.**

#### **Introducción**

La absorción intestinal de los productos finales de los procesos hidrolíticos que ocurren en el intestino delgado del cerdo no se diferencia mucho de los otros animales y son fundamentalmente transportes a través de membrana de naturaleza activa o pasiva, o bien por pinocitosis. Estos procesos tienen lugar en escala considerablemente menor en el intestino grueso y allí son relativamente menos importantes que en el intestino delgado. Perfectamente acoplados a los mecanismos de transporte están los sistemas enzimáticos que están encargados de la degradación de disacáridos y dipéptidos, razón por la cual todo este mosaico de funciones que transcurren en las microvilli se ha dado en llamar digestión de membrana y que secuencialmente ocurre más bien después de iniciada la digestión luminal.

Los procesos de absorción intestinal en su conjunto se han medido de una forma cuantitativa in vivo e in situ mediante la preparación de los cerdos con dos cánulas intestinales, una en el duodeno, después de la desembocadura del conducto de Wirsung y otra en el íleon terminal. De esta forma la absorción intestinal se ha definido como desaparición del lumen del canal alimentario. Cuando los animales son canulados en la vena porta y en una arteria, generalmente la carótida, la absorción intestinal se define como aparición de nutrientes en el torrente circulatorio.

Los mecanismos que gobiernan la absorción de nutrientes en el intestino son más fácilmente asequibles cuando se hacen medidas in vitro. Estos estudios son esencialmente cualitativos.

A continuación se evaluarán los distintos métodos de absorción intestinal.

#### **Absorción intestinal definida como desaparición del lumen**

Uno de los primeros informes hechos sobre el empleo en el cerdo de las técnicas de aislamiento temporal de un asa intestinal fue el de Furuya y Takahashi (1975). Estos investigadores aislaron 1 m de yeyuno a 1.20 m del píloro mediante sendos balones inflados que introdujeron por las cánulas simples correspondientes.

Furuya y Takahashi (1975) obtuvieron datos que describe la absorción de histidina y glucosa como una función hiperbólica en respuesta al aumento creciente en la concentración de la sustancia infundida, entre 2.5 y 20 g/l y también hallaron que la absorción de uno de los compuestos era independiente de la del otro.

Por otra parte, para una concentración dada, la velocidad de absorción de la glucosa fue mayor que la de la histidina. Estos investigadores japoneses encontraron que tanto la absorción del aminoácido en cuestión como de la hexosa, cuando se expresaba como por ciento de la cantidad en el perfusado, decrecía con el acrecentamiento de la velocidad de perfusión (tabla 10.1), aunque la velocidad de absorción de la histidina aumentó en 20% y la de la glucosa en 30%.

**Tabla 10.1 Efecto de la velocidad de flujo en la absorción in situ de histidina y glucosa a partir de una solución de 1 g/dl en yeyuno de cerdos.**

Velocidad en flujo (ml/h)	Absorción (%)		Velocidad de absorción (g/h)	
	Histidina	Glucosa	Histidina	Glucosa
400	46.3	68.2	1.85	2.73
600	32.1	59.2	1.93	3.53
800	28.0	44.3	2.24	3.54

FUENTE: Furuya y Takahashi (1975)

De acuerdo con los cálculos de Furuya y Takahashi (1975) el potencial de absorción intestinal de glucosa en cerdos de 25-30 será de unos 57.8 g/h. Dentro de este rango y para cerdos de un peso equivalente pudieran estar los datos de Arias et al (1984), 91.3 g/h, obtenidos en yeyuno mediante estudios agudos. Alguna información adicional, incluyendo la de Pekas (1977) a partir de asas de íleon aislado crónicamente aparecen en la tabla 10.2.

**Tabla 10.2 Absorción in situ de glucosa en asas intestinales aisladas de cerdos.**

Sitio de aislamiento	Potencial de absorción (g/h)	Km (mmol)	Referencia
Yeyuno	57.8	-----	Furuya y Takahashi (1975)
Yeyuno	91.3	127.0	Arias et al (1984)
Íleon	---	16.6-29.9	Pekas (1977)

La digestibilidad ileal de entidades químicas bien definidas fue estudiada por Cunningham et al (1963), quienes hallaron que la digestibilidad ileal estuvo entre 95 y 99% lo mismo para monosacáridos como la glucosa, disacáridos como la sacarosa, o polímeros como el almidón de maíz; al mismo tiempo la digestibilidad ileal de la lactosa o el almidón de papa fue muy baja.

Similarmente Ly (1992), encontró que la digestibilidad ileal de la sacarosa y la glucosa fue muy alta en comparación con la de la fructosa. A su vez la digestibilidad ileal de la xilosa parece ser bien alta mientras que no ocurre lo mismo con la arabinosa y el ácido galacturónico (Yule y Fuller 1992). Resultados concordantes con los anteriores fueron encontrados por Shutte et al (1992) para la digestibilidad ileal de la arabinosa y la glucosa.

Estos datos de digestibilidad ileal de carbohidratos en cerdos coinciden con lo encontrado en otras especies acerca de la existencia de un transporte activo para la absorción intestinal de la glucosa y en comparación con la de esta hexosa, un valor decreciente para la velocidad de absorción de la fructosa y de las pentosas (Cori 1925).

En lo referente a los valores altos y bajos para la digestibilidad del almidón de maíz o papas, es conocida la diferencia estructural del gránulo de almidón del cereal o del tubérculo en cuestión. Por otra parte, la alta digestibilidad ileal de la sacarosa pudiera sugerir una actividad disacaridásica en el enterocito tan eficiente como la velocidad de absorción de los monosacáridos resultantes, tal vez por una ventaja estérica. Un resumen de todo lo anterior aparece en la tabla 10.3.

**Tabla 10.3 Digestibilidad ileal de carbohidratos en cerdos.**

<b>Carbohidrato</b>	<b>Digestibilidad ileal (%)</b>	<b>Referencia</b>
Almidón de maíz	98.0	Cunningham et al (1963)
Almidón de papa	44.0	
Lactosa	60.0	
Sacarosa	95.0	
	98.3	Ly (1992)
Glucosa	98.3	
	99.4	Shutte et al (1992)
	99.0	Cunningham et al (1963)
Galactosa	95.0	
Fructosa	86.6	Ly (1992)
Arabinosa	66.8	Schutte et al (1992)
	76.0	Yule y Fuller (1992)
Xilosa	96.0	
Acido galacturónico	76.0	

La técnica del asa intestinal aislada fue usada por Freeman et al (1968) para encontrar que los cerdos absorbieran micelas de grasa a un ritmo superior al de la velocidad con que llegaba al asa la grasa contenida en la digesta.

Por otra parte, Freeman et al (1968) informaron que de acuerdo con sus resultados, la capacidad del cerdo para absorber grasa emulsificada podría ser poca. Esta técnica no ha sido muy usada para hacer estudios de digestión de la grasa en cerdos, si se compara con las técnicas de determinación de la digestibilidad ileal, a partir de experimentos como el hecho Cunningham et al (1963).

Uno de los estudios que reflejan las tendencias de los años 90's pudiera ser el de Jorgensen et al (1993). Estos investigadores hallaron que la digestibilidad de la grasa y de los ácidos grasos aumentó con la elevación de la grasa dietética lo que pudiera mostrar una influencia muy fuerte de los lípidos endógenos.

Por ejemplo, la cantidad de grasa endógena que se midió en el íleon terminal y en las excretas fue de 4.7 y 4.0 g por kg de MS consumida respectivamente. Desde otro ángulo, se encontró que la cantidad de ácidos grasos saturados endógenos fecales fue mayor que la de los insaturados, pero menor a su vez que los ileales lo que reforzaría la opinión de que en el intestino grueso, la microflora hidrogena los ácidos grasos insaturados. Un resumen de los resultados de Jorgensen et al (1993) aparecen en la tabla 10.4.

**Tabla 10.4 Digestibilidad ileal y total de grasa y ácidos grasos en cerdos.**

<b>Digestibilidad (%)</b>	<b>ileal</b>			
Grasa	11.4	81.6	87.5	89.0
Ácidos grasos				
12:0, láurico	93.5	96.5	95.7	93.8
14:0, mirístico	86.8	91.6	92.7	92.3
14:1, miristoleico	93.0	90.7	88.4	87.4
16:0, palmítico	83.8	92.4	94.0	94.5
16:1, palmitoleico	69.6	82.7	96.6	97.7
18:0, esteárico	71.0	89.3	92.4	93.0
18:1, oleíco	85.1	95.8	97.4	97.5
18:2, linoleíco	89.1	97.4	99.0	98.8
18:3, linolécnico	82.3	97.2	98.5	98.4
Digestibilidad total (%) grasa	0.3	71.4	83.6	85.0
Ácidos grasos				
	74.2	70.0	79.2	70.0
12:0, láurico	56.0	69.7	75.4	70.3
14:0, mirístico	100.0	100.0	100.0	100.0
14:1, miristoleico	64.0	84.6	89.1	88.9
16:0, palmítico	40.8	39.2	72.0	73.1
16:1, palmitoleico	9.8	71.5	76.1	69.4
18:0, esteárico	86.7	92.5	96.5	95.8
18:1, oleíco	96.6	98.2	99.1	98.8
18:2, linoleíco	91.0	96.9	98.2	98.0
18:3, lonolécnico				

FUENTE: Jorgensen et al (1993)

Los índices de digestibilidad ileal sólo reflejan el resultado final de la absorción de los ácidos grasos, pero no los mecanismos puestos en acción a nivel del enterocito, mecanismo que realmente no se conocen bien (Demarne 1982). Tampoco estos datos reflejan la forma final de aparición de los ácidos grasos en forma de triglicéridos resintetizados en el enterocitos y transferidos a la circulación linfática de quilomicrones como lipoproteínas. Por otra parte, muy poca información existe en el cerdo sobre las características particulares de esta especie animal para la absorción de fosfolípidos, esteroides y vitaminas liposolubles.

Los ácidos grasos de cadena corta son en esencia lípidos hidrosolubles no de naturaleza dietética puesto que aparecen en el lumen del canal alimentario como productos finales de la fermentación de los polisacáridos que no son almidón.

Es obvio que este fenómeno hace que sea imposible medir su absorción por el cálculo (ingestión-residuo), lo que hace imprescindible estudiarla por su presencia en la sangre. Darcy-Vrillon et al (1985) hicieron un estudio comparativo de la digestibilidad ileal y final de los aminoácidos constituyentes de la caseína así como de los coeficientes de absorción de los mismos compuestos a partir de medidas arterio-venosas. Uno de sus resultados confirmó otros previos en los que se halló que la digestibilidad del nitrógeno fue menor que la del total de aminoácidos. Por otra parte, se observó que los tres métodos de estimación tenían diferencias específicas, ya que la digestibilidad fecal se ve influenciada por la actividad bacteriana en el intestino grueso, que conduce a la descomposición intestinal de cierta proporción de aminoácidos sin ningún beneficio para el animal; en el caso de la digestibilidad ileal, esta no está influida por la microflora pero se ve enmascarada por la fracción residual endógena que no se absorbió hasta la válvula ileo-cecal. Las medidas sanguíneas

incluyen el efecto del nitrógeno endógeno reciclado y las consecuencias del metabolismo de la pared intestinal. En la tabla 10.5 aparecen datos de Darcy-Vrillon et al (1985).

**Tabla 10.5 Absorción intestinal de aminoácidos de acuerdo con el método de estimación.**

	Digestibilidad		Coeficiente de absorción
	Fecal (%)	Ileal (%)	
Aminoácidos esenciales	96.9	95.5	141.3
Arginina	85.1	75.0	76.3
Cistina	97.9	96.7	112.8
Histidina	96.4	94.4	95.2
Isoleucina	97.7	95.7	82.2
Leucina	96.6	97.2	113.1
Metionina	97.2	96.6	104.5
Fenilalanina	96.3	90.8	113.6
Treonina	97.1	94.7	109.5
Valina			
Aminoácidos esenciales no	95.9	93.8	109.4
	98.3	96.2	3.7
Acido aspártico	94.1	91.6	477.0
Acido glutámico	92.6	82.6	250.1
Alanina	97.4	96.9	96.9
Glicina	96.3	90.7	126.6
Prolina	98.9	92.3	95.9
Serina			
Tirosina	97.3	94.9	107.3
	95.2	91.0	125.9
Total de aminoácidos			
Nitrógeno			

FUENTE: Darcy-Vrillon (1985)

Al igual que ocurre con los ácidos grasos, para alcanzar la fase de la absorción en el intestino delgado, los aminoácidos deberán sufrir varios procesos hidrolíticos, que influyen en este caso, en acción de las peptidasas presentes en el borde estriado de las micrónulos.

De acuerdo con Rerat y Corring (1991) la hidrólisis de las oligopéptidos de más de 3 aminoácidos en la que ocurre allí. Los N-aminopeptidasas superan fundamentalmente leucina y metionina de esos péptidos, mientras que las A-aminopeptidasas separan los ácidos aspártico y glutámico y en menor proporción, la arginina y la lisina en el extremo N, pero nunca la prolina, que se libera por un mecanismo enzimático propio. Por consiguiente siempre, según Rerat y Corring (1991), los oligopéptidos C2 - C6 del lumen intestinal se hidrogenan en di y tripéptidos así como aminoácidos neutros y ácidos. Una alta proporción de tripéptidos (60%) y menor de dipéptidos (10%) se hidrolizan si contienen un residuo de prolina o hidroxiprolina. Los péptidos restantes se transfieren al citoplasma del enterocito mediante un transportador específico, donde se hidroliza casi completamente. Junto con este mecanismo, existe el mecanismo de transporte único de oligopéptidos, específicamente di y tripéptidos. Este transporte es contra un gradiente de concentración.

A diferencia de lo anterior, existen tres mecanismos de transporte intestinal para los aminoácidos libres. Por ejemplo, los aminoácidos neutros se transportan dependiendo del sodio por un mecanismo común y tres particulares. Los aminoácidos básicos se transfieren por dos mecanismos propios, uno dependiente de sodio y el otro no. Igualmente existe otro mecanismo propio de los aminoácidos aniónicos o ácidos, también sodio-dependientes.

La absorción intestinal de los macroelementos presentan menos complejidades desde el punto de vista hidrolítico, pero se debe tener en cuenta la secreción endógena de los mismos, puesto que el sodio y el, potasio, y en menor medida el calcio y el magnesio son exportados al lumen intestinal. Esto no parece ser así para el fosfato.

En un experimento hecho para definir el efecto del nivel dietético de macroelementos en su digestibilidad y retención Jorgensen et al (1985) informaron que la retención de calcio y fósforo aumentó con el nivel dietético de los mismos.

Por otra parte la cantidad de sodio que ingresó en el intestino grueso fue de 3 a 7 veces mayor que la ingerida. Este mineral fue reabsorbido en gran medida en el intestino grueso. En contraste el potasio fue absorbido en el intestino delgado y segregado en el intestino grueso. El magnesio fue absorbido en el intestino grueso.

Jorgensen et al (1985) hallaron ecuaciones de regresión que hacen el tránsito intestinal de cada mineral dependiente del nivel de consumo. Estas relaciones aparecen a continuación (tabla 10.6).

**Tabla 10.6 Tránsito de minerales (y, g/día) en cerdos que ingirieron niveles variables de Na, K, Ca, Mg, y P.**

	a	b	R <sup>2</sup>
Tránsito ileal			
Na	+10.4	+0.63	0.32
K	3	-0.04	0.20
Ca	+	+0.74	0.87
Mg	2.54	+0.93	0.85
P	- 1.98	+0.55	0.75
	+		
Tránsito total	0.02		
	- 1.11		
		+0.15	0.32
Na		+0.003	0.46
K		+0.70	0.88
Ca	+	+0.89	0.87
Mg	0.12	+0.58	0.88
P	- 3.43		
	- 1.47		
	- 0.34		
	- 0.96		

FUENTE: Jorgensen et al (1985).

En un trabajo contemporáneo al de Jorgensen et al (1985), Ravindran et al (1984) investigaron la posible influencia de un antibiótico, la virginiamicina (en ppm y la de la fibra) (FND, BS y 20.2%) en la absorción de macro y microelementos. Ravindran et al (1985) encontraron que el antibiótico usado mejoró la absorción de minerales en la dieta alta en fibra, pero no lo fue mucho en la que tenía poca fibra (tabla 10.7).

Según Ravindran et al (1984) el mecanismo por el cual esto ocurrió no fue evidente, y sugirieron que se necesitarían más estudios sobre la microbiología del intestino grueso, que altera la velocidad de tránsito, la digestión de la fibra y la absorción de elementos minerales.

**Tabla 10.7 Absorción de macro y microelementos en el cerdo.**

<b>Fibra neutra</b>	<b>13.5</b>	<b>20.2</b>		
<b>detergente (%)</b>				
<b>Virginiamicina (ppm)</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>0</b>	<b>00</b>
<b>Absorción (%)</b>				
Sodio	86.1	88.6	80.6	80.4
Potasio	80.2	79.7	75.8	77.2
Calcio	63.5	62.0	56.5	66.1
Magnesio	31.6	33.5	35.4	41.4
Fósforo	55.2	55.4	57.7	63.0
Cobre	27.9	29.3	31.5	41.2
Hierro	37.1	38.8	38.4	43.3
Zinc	29.3	29.8	26.4	38.2
Magnesio	23.0	21.4	24.8	33.8

FUENTE: Ravindran et al (1984).

Los mecanismos de transporte de iones con especial referencia a lo que ocurre en el intestino grueso de los mamíferos fue revisado por Rechkemmer (1991), en el cerdo hay poca información disponible. Sin embargo puede asumirse con un buen margen de confianza que los movimientos vectoriales de los electrólitos a través del epitelio no deben diferir.

La absorción de agua ocurre definitivamente en el intestino delgado del cerdo, aunque se ha considerado erróneamente que es el intestino grueso el sitio de absorción más importante de agua. Esto se debe a que el balance se enmascara debido a la abundante exportación de fluidos que se hacen en el estómago y duodeno. Un balance de agua en el tracto gastrointestinal fue propuesto por Low et al (1978) y se muestra en la tabla 10.8.

**Tabla 10.8 Balance de agua en el tracto gastrointestinal del cerdo.**

	<b>Volumen (ml)</b>
<b>INGRESOS</b>	
Agua de bebida + saliva	4377
Secreción de estómago y duodeno	8098
<b>EGRESOS</b>	
Absorción en yeyuno	219
Absorción en íleon	8754
Absorción en intestino grueso	3152
	350
<b>EMISION FECAL</b>	

FUENTE: Low et al (1978).

#### **Absorción intestinal definida como aparición en sangre**

La absorción intestinal vista como la aparición de varios nutrientes en la vena porta del cerdo, ha sido estudiada sistemáticamente por el grupo de Rérat. Estos investigadores han utilizado la técnica de

diferencia porto-arterial en la concentración de nutrientes junto con medidas simultáneas de la velocidad de flujo sanguíneo portal.

De acuerdo con las observaciones resumidas por Rérat (1985), la velocidad así como la cantidad de carbohidratos aparecidos en la sangre de la porta depende a su vez del tipo de carbohidrato ingerido. Este proceso va muy rápido tras la ingestión de glucosa y sacarosa, más lento en el almidón de maíz y muy lento en la lactosa (tabla 10.9).

**Tabla 10.9 Monto de azúcares reductores (mg) aparecidos en la porta de cerdos 8 h después de ingerir cantidades variables de carbohidratos.**

<b>Consumo fresco (g)</b>	<b>Carbohidrato</b>	<b>Monto aparecido en porta</b>
400	glucosa	245
400	sacarosa	254
400	lactosa	134
400	almidón de maíz	214
800		592
800	glucosa	531
800	sacarosa	127
800	lactosa	361
	almidón de maíz	
1200		658
1200		710
	sacarosa	
	almidón de maíz	

FUENTE: Rérat (1985).

De acuerdo con Rérat (1985) la velocidad de absorción de los aminoácidos que se retuvieron en el tracto gastrointestinal varía de acuerdo con el alimento ingerido, de nuevo la absorción fue más rápida después de ingerir proteínas de trigo o harina de pescado, que cuando estas fueron de cebada.

Por otra parte el perfil de aminoácidos esenciales fue igual en la sangre porta y en la ingesta, cosa que no fue así en el caso de los aminoácidos no esenciales. Además de esto algunos aminoácidos esenciales, la histidina y los aminoácidos aromáticos, aparecieron más rápidamente que otros como la lisina, la arginina y los aminoácidos azufrados.

También merece mencionarse que poco ácido glutámico y mucha alanina están presentes en la sangre portal, probablemente debido a los procesos de transaminación. Algunos aspectos relacionados con las posibles diferencias entre la digestibilidad real y el coeficiente de absorción de aminoácidos ya fueron expuestos (ver tabla 10.5).

Aquí se quisiera destacar que Rérat et al (1984) han hallado que si se introducen en el duodeno soluciones que contienen péptidos de bajo peso molecular, la cantidad de alfa amino nitrógeno absorbido es mayor que si se introduce en la sección intestinal una mezcla de aminoácidos libres con la misma proporción de la del hidrolizado. Los datos se brindan en la tabla 10.10.

**Tabla 10.10 Cantidad de aminoácidos ingresados por vena porta en 5 h a partir de un hidrolizado de caseína o una mezcla similar de aminoácidos introducidos en el duodeno del cerdo.**

	Cantidad aparecida en porta	Velocidad de absorción
Introducción de 55 g		
Aminoácidos libres	71.8	130.4
Hidrolizado de caseína	88.4	160.7
Introducción en 100 g		
Aminoácidos libres	95.0	86.4
Hidrolizado de caseína	151.3	137.7

FUENTE: Rérat et al (1984).

Los estudios de absorción intestinal por aparición portal de nutrientes también se han extendido a las AGCC teniendo en cuenta la influencia de niveles variables de celulosa, o al comparar la inclusión en la dieta de una fracción importante de harina de alfalfa o de lactosa (Giusi-Perier et al 1989). Estos investigadores encontraron que la eficiencia de la absorción de azúcares reductores y de amino nitrógeno decreció al acrecentar el nivel de celulosa en la comida. Lo contrario fue observado para los AGCC (tabla 10.11).

Por otra parte, se halló que la absorción de azúcares reductores fue alta y la de amino nitrógeno y AGCC fue baja en la harina de alfalfa. Con la lactosa, se redujo la absorción de azúcares reductores, no cambió la de amino nitrógeno y aumentó la de AGCC. Estas investigaciones permitieron que Giusi-Perier et al (1989) afirmaran que la eficiencia energética de la dieta decrece en la adición de celulosa en el alimento, cosa que no ocurre cuando se añade harina alfalfa o lactosa a la dieta de los cerdos.

**Tabla 10.11 Proporción de AGCC y monto absorbido en cerdos alimentados con 6 y 16% de celulosa (C6 ó C16) o un 22% de harina alfalfa o lactosa (HF o L).**

	C6	C16	HF	L
Absorción (% del total)				
Acido acético	75.9	69.1	74.9	72.7
Acido propiónico	18.0	22.7	21.4	21.6
Acido butírico	3.8	5.9	1.7	3.3
Acido isovalérico	1.5	1.2	1.3	1.2
Acido valérico	0.8	1.0	0.6	1.2
Total absorbido (mol/día)	1.18	1.43	0.88	1.18

FUENTE: Giusi-Perier et al (1989).

Rérat (1985) ha informado que cantidades sustanciales de ácido láctico aparecen en la vena porta, con distintos tipos de carbohidratos ingeridos. El ácido láctico pudiera ser el producto final de la actividad microbiana en el lumen del canal alimentario y también una consecuencia de la glucólisis en la mucosa. Este aspecto no está claro. En la tabla 10.12 se presentan algunos datos presentados por el grupo de Rérat.

**Tabla 10.12 Monto de ácido láctico aparecidos en el organismo durante la digestión.**

Consumo (g)	Carbohidrato	Cantidad ingerida acumulada (g)			
		2 h	4 h	6 h	8 h
619	Glucosa	6.7	14.1	19.8	22.6
542	Sacarosa	8.8	14.8	19.8	23.4
825	Almidón	7.1	14.9	22.1	28.3
691	maíz	4.3	10.1	15.6	20.0
	Lactosa				

FUENTE: Rérat (1985).

## REFERENCIAS

- Arias, T, Macias, Díaz R y Ly J. 1984. Ciencia y Técnica Agric. Ganado Porcino. 7 (2):33-45
- Cunningham HM, Friend DW y Nicholson JWG 1963. Canad. J. Anim. Sci. 43:215-225
- Darcy-Vrillon B, Souffrant WB, Laplace JP, Rérat A, Gebhardt G, Vaugelade P y Jong J. 1985. In: Proc. 3rd Int. Sem. Dig. Physiol. Pig. (A. Just, A Jorgensen y JA Fernández ed). Beret Sta Husdgrbrugs. Kobenhavn p 326-328.
- Demarne Y 1982. Les colloques INRA N°12 Jouy-en-Josas p 99-109.
- Furuya S. y Takahashi S. 1975. Brit. J. Nutr. 34:267-277.
- Freeman CP, Noakes DE, Annison EF y Hill KJ. 1968. Brit. J. Nutr. 22:739
- Giusi-Perier A, Fiszlewicz M y Rérat A. 1989. J. Anim. Sci 67:386-402.
- Jorgensen H, Jakobsen K y Eggum BO 1993. Act. Agric. Scand, Sect A, Anim. Sci. 43:101-106.
- Jorgensen H, Just A y Fernández JA. 1985. In: Proc. 3rd int. Sem. Dig. Physiol. Pig (A Just, H Jorgensen y JA Fernández ed). Beretn. Sta. Husdyr brugs. Kobenhavn p 360-363.
- Ly J. 1992. Arch. Anim. Nutr. 42:1-9.
- Low AG, Partridge IG y Sambrook IE. 1978. Brit. J. Nut. 39:515-526.
- Pekas JC 1977. J. Anim. Sci. 45:729
- Rérat A y Corring T. 1991. Proc. V Int. Sem. Dig Physiol Pig (MWA Verstegen, J Huisman y LA den Hartog ed. Pudoc. Wageningen p. 5-34.
- Rérat A. 1985. Arch. Anim. Nutr. 35:461-480.
- Rérat A, Lacroix N, Simoes-Nunes C, Vaugelade P y Vaissade P.1984. Bull. Acad. Nut. Med.
- Ravindram V. Kornegay ET y Webb KE. 1984. J. Anim. Sci. 59:400-408.