

FISIOLOGÍA DIGESTIVA DE AVES Y CERDOS

Dr. José Luis Romano Muñoz
Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal - INIFAP

El principal objetivo del tubo digestivo es el de procesar las macromoléculas que forman parte de los alimentos ingeridos en sus unidades estructurales, para que éstas puedan ser absorbidas y utilizadas por todo el organismo. Para lograr este objetivo, los alimentos deben sufrir transformaciones físicas y químicas; transformaciones que se realizan gracias a procesos de: fragmentación, secreción, mezclado y transportación a lo largo del tubo (motilidad), digestión y absorción (Cuadro 1). Estos procesos deberán llevarse a cabo de manera integral y coordinada para que el tubo digestivo (TD) cumpla su función. Las actividades de motilidad y secreción están altamente controladas por el sistema nervioso autónomo, el sistema nervioso entérico y el sistema endocrino.

En general, las bases de los procesos fisiológicos que se desencadenan en el TD son muy similares entre aves y cerdos; por ejemplo, la presencia de alimento en el proventrículo de las aves o en el estómago de los cerdos estimulará la secreción de la hormona gastrina y ésta estimulará la secreción de jugos gástricos. El resultado en ambos casos será la digestión parcial del componente proteico del alimento. Así, en este escrito, a menos de que se indique lo contrario, el evento fisiológico que se describa en una especie podrá ser considerado como válido para la otra.

Cuadro1. Procesos necesarios para que el Tubo Digestivo cumpla con su función

Macromoléculas presentes en el alimento	Procesos	Unidades estructurales, producto de la Digestión	Proceso
Polisacáridos	Motilidad Secreción	Monosacáridos	Absorción
Proteínas		Aminoácidos	
Triglicéridos		Ácidos grasos	
Ácidos nucleicos	Digestión	Monosacáridos, bases nitrogenadas, fósforo	

FISIOLOGÍA DIGESTIVA DE LAS AVES

En las aves, el TD está formado por el pico, el esófago, buche (el cual constituye un ensanchamiento del esófago), el proventrículo o estómago verdadero, la molleja, el intestino delgado, sacos ciegos, colon y cloaca. Las glándulas salivales, el páncreas y el hígado son consideradas como glándulas accesorias indispensables para que el TD realice la función arriba mencionada.

El **pico** tiene como principal función la ingestión del alimento; aunque existen glándulas salivales, la secreción, en el caso de las aves domésticas, es escasa. Se han detectado enzimas como la α amilasa; sin embargo, a concentraciones bajas y con una actividad degradadora de almidones (amilolítica) muy limitada. El alimento deglutido es conducido a través del esófago y depositado en el buche.

En el **buche** se secretan sustancias mucoides que tienen como objetivo el humedecer el alimento ahí depositado. Se ha identificado la presencia de α amilasa proveniente de las glándulas salivales, con una actividad amilolítica limitada.

El alimento sale del buche y es vaciado al **proventrículo**, órgano que constituye el estómago verdadero. En algunas células de la pared del proventrículo se secreta el jugo gástrico, constituido por ácido clorhídrico y compuestos proenzimáticos como el pepsinógeno; estas secreciones tienen su origen en las células parietales y principales, respectivamente. En la luz del proventrículo, al mezclarse, el pepsinógeno es activado por el ácido clorhídrico, dando así lugar a la pepsina; la pepsina es una enzima activa que digiere la fracción proteica del alimento (actividad proteolítica).

El contenido proventricular es vaciado a la **molleja**, órgano al que también se le conoce como el estómago muscular. La mucosa de la molleja carece de células secretorias; como resultado de las contracciones musculares propias del órgano, se llevan a cabo actividades de fragmentación del alimento; sin embargo, la función más importante es la del mezclado entre los componentes alimenticios y las secreciones ácida y enzimática del proventrículo. En este órgano, debido al mezclado, la actividad proteolítica de la pepsina se intensifica; cabe mencionar que hasta aquí, las proteínas son los únicos componentes del alimento que empiezan a ser transformados de manera importante.

El contenido de la molleja está constituido por la mezcla de componentes del alimento sin digerir (carbohidratos, lípidos, etc.), secreciones del TD, así como proteínas parcialmente digeridas; el pH del quimo es francamente ácido. El vaciado al **intestino delgado**, provoca la estimulación de receptores sensibles a los componentes del quimo (proteínas, carbohidratos, lípidos, etc.), así como al pH del mismo, estimulación que resulta en la liberación, hacia el lumen intestinal, de jugo pancreático rico en bicarbonatos y enzimas digestivas. Paralelamente, se estimula la secreción de la pared intestinal y el vaciado de la vesícula biliar.

Las secreciones pancreáticas, intestinales y biliares propician el proceso digestivo en el intestino delgado. El jugo pancreático rico en bicarbonatos provoca la alcalinización del quimo en la luz intestinal, alcalinización que sirve tanto para proteger la mucosa intestinal como para crear un ambiente químico más propicio para la actividad enzimática. El jugo pancreático también contiene las enzimas que llevarán a cabo el proceso de digestión de las principales macromoléculas del alimento (carbohidratos, proteínas, lípidos, etc.).

En el Cuadro 2 se presenta la información referente a las células o glándulas donde se produce la enzima, los substratos sobre los que actúa y los productos resultantes. Es necesario hacer notar que la mayor parte de las enzimas pancreáticas son liberadas

como proenzimas o enzimas inactivas, como una medida de protección para las células que las producen; de lo contrario, la actividad catalítica de las mismas podría iniciar un proceso de autodigestión de las células pancreáticas.

Las enzimas pancreáticas liberadas en el lumen intestinal son mezcladas con el quimo y con enzimas de la mucosa intestinal como la enterocinasa. La enterocinasa desempeña un papel importante en la activación de proenzimas pancreáticas, ya que actúa sobre el tripsinógeno, convirtiéndolo en tripsina (enzima activa); la tripsina inicia una reacción en cascada, activando a las otras proenzimas.

La bilis liberada hacia el lumen intestinal, además de tener propiedades alcalinizantes, promueve la emulsificación de la fracción lipídica, lo que permite la digestión de la misma al facilitar su interacción con las lipasas correspondientes.

Las secreciones arriba mencionadas tendrían un efecto muy limitado si no existiera motilidad en el TD. La actividad de las fibras musculares presentes en la pared del TD genera contracciones transversales y longitudinales, contracciones que resultan en el movimiento del contenido a lo largo del TD (movimientos de peristalsis), en el mezclado del contenido con las diferentes secreciones (movimientos de segmentación) y un incremento en la interacción de los productos de la digestión con la mucosa intestinal para su absorción.

En los **sacos ciegos** y **colon**, potencialmente, se puede llevar a cabo una incipiente fermentación de los componentes no digeridos de los alimentos, fermentación realizada por microorganismos anaerobios. Como resultado de esta limitada fermentación, se producen ácidos grasos volátiles, que al ser absorbidos contribuyen, en pequeña escala, a la economía energética del ave. En estos órganos se realiza una exhaustiva absorción de agua y una síntesis de vitaminas del complejo B.

FISIOLOGÍA DIGESTIVA DE LOS CERDOS

En el caso de los cerdos, los órganos que componen el TD son: cavidad bucal, esófago, estómago, intestino delgado, saco ciego e intestino grueso. Al igual que en las aves, las glándulas accesorias son las glándulas salivales, el hígado y el páncreas.

Los procesos necesarios para que el TD cumpla su función son los mismos que en las aves; esto es, fragmentación, motilidad, secreción, digestión y absorción. Sin embargo, existen diferencias anatómicas que tienen repercusiones fisiológicas.

Por ejemplo, la conformación muscular de la lengua y la presencia de piezas dentales permiten una ingestión diferente de los alimentos, así como una fragmentación local a través del masticado. Las glándulas salivales en el cerdo también producen α -amilasa; sin embargo, la actividad de esta enzima también está limitada por el corto tiempo de permanencia del alimento en la cavidad bucal.

El alimento deglutido es conducido al **estómago** a través del esófago. La presencia de alimento estimula la liberación de la hormona gastrina, la cual promueve la secreción de ácido clorhídrico por las células parietales y pepsinógeno por las células principales; a

Cuadro 2. Principales enzimas digestivas (entre paréntesis, compuestos secretados como proenzimas).

	Origen	Enzima	Sustrato/Acción	Producto
Presencia de alimento en cavidad bucal	Glándulas salivales	Alfa amilasa	Almidones. Hidrólisis de enlaces alfa 1,4	Por el corto tiempo de interacción, los productos son negligible (dextrinas límite, maltosas, isomaltosas)
Presencia de alimento en estómago. Presencia de compuestos proteicos.	Células Principales en mucosa gástrica	Pepsina (pepsinógeno)	Proteínas y polipéptidos. Ruptura de enlaces peptídicos adyacentes a aminoácidos aromáticos.	Proteínas y oligopéptidos
Presencia de proteínas, grasas y carbohidratos en el quimo.	Células de acinis pancreáticos	Alfa amilasa	Almidones. Hidrólisis de enlaces alfa 1,4	Dextrinas límite, maltosas e isomaltosas
		Tripsina (tripsinógeno)	Proteínas y polipéptidos. Ruptura de enlaces peptídicos adyacentes a arginina o lisina.	Oligopéptidos
		Quimotripsina (quimotripsinógeno)	Proteínas y polipéptidos. Ruptura de enlaces peptídicos adyacentes a arginina o lisina.	Oligopéptidos
		Elastasa (proelastasa)	Elastina y otras proteínas. Ruptura de enlaces peptídicos adyacentes a aminoácidos alifáticos.	Oligopéptidos
		Carboxipeptidasas (procarboxipeptidasas)	Proteínas y oligopéptidos. Ruptura de enlaces peptídicos de aminoácidos del extremo carboxi-terminal	Aminoácidos y oligopéptidos
		Lipasa	Triglicéridos. Ruptura de enlaces éster.	Monoglicéridos y ácidos grasos
		Colesterol éster hidrolasa	Ésteres de colesterol. Ruptura de enlaces éster.	Colesterol y ácidos grasos.
		Fosfolipasa A ₂ (profosfolipasa)	Fosfolípidos. Ruptura enlaces éster.	Lisofosfolípidos y ácido graso
		Ribonucleasa	Acido ribonucleico	Ribonucleótidos
		Desoxiribonucleasa	Acido desoxiribonucleico	Desoxinucleótidos
	Mucosa intestinal	Enterocinasa	Tripsinógeno. Ruptura enlace peptídico.	Tripsina y oligopéptidos
		Aminopeptidasa	Polipéptidos. Ruptura de enlaces peptídicos de aminoácidos del extremo N-terminal	Aminoácidos y oligopéptidos
		Dipeptidasa	Dipéptidos. Ruptura de enlace peptídico	Dos aminoácidos
		Maltasa	Maltosa y maltotriosa.	Glucosas
		Sacarasa	Sacarosa.	Fructosa y glucosa
		Lactasa	Lactosa.	Galactosa y glucosa
		Dextrinasa	Dextrinas límite	Glucosas
Di y tripéptidos intracelulares	Citosol de enterocitos	Peptidasas	Di y tripéptidos	Aminoácidos

Modificado de Ganong, 1993.

diferencia del proventrículo de las aves, el estómago funciona como un reservorio del alimento, donde éste permanece un mayor tiempo. Adicionalmente, la actividad contráctil del estómago permite un mayor mezclado que promueve una mayor interacción entre los componentes del alimento y los jugos gástricos; resultando en una digestión parcial de las proteínas, pero sin cambios en los otros componentes.

El **intestino delgado** en los cerdos tiene una mayor definición entre el duodeno, yeyuno e íleo; definición que afecta los procesos de digestión y absorción. Así, se ha observado que la magnitud de la digestión es mayor en el duodeno, en el yeyuno continúa la digestión e inicia la absorción y en el íleo se lleva a cabo, principalmente, el proceso de absorción.

Similar a las aves, la presencia de quimo en el duodeno estimula la liberación al torrente sanguíneo de las hormonas secretina y colecistocinina. La secretina actúa sobre los ductos de la porción exócrina del páncreas para la liberación de jugo pancreático rico en bicarbonatos. La colecistocinina también actúa sobre el páncreas, pero lo hace a nivel de células de los acinis, que es donde se sintetizan las enzimas digestivas. Adicionalmente, la colecistocinina estimula la contracción de la musculatura lisa de la vesícula biliar para el vaciado de la bilis hacia el duodeno. La presencia de enzimas y de bilis hace que sea éste el órgano donde se realiza la digestión casi completa de los carbohidratos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos; las unidades estructurales de tales componentes son absorbidas a través de la mucosa intestinal.

La porción no digerida de los alimentos, así como los restos de las secreciones endógenas, puede ser utilizada por los microorganismos existentes en el **intestino grueso**. Esta utilización se lleva a cabo a través de la fermentación anaeróbica. Al igual que en aves, los microorganismos sintetizan vitaminas del complejo B y vitamina K.

Si bien es cierto que se produce una variedad de enzimas endógenas que atacan y digieren la mayor parte de los componentes del alimento, también es cierto que existen componentes para los cuales los animales domésticos no producen enzimas que los degraden. Por ejemplo, la porción de carbohidratos de muchos de los ingredientes comúnmente utilizados está formada tanto por componentes del contenido celular (polisacáridos como el almidón, por oligosacáridos como la estaquiosa y, en muy poca proporción, por mono y disacáridos), así como por componentes de la pared celular (celulosa, hemicelulosa, pectina, beta glucanos y galactanos, entre otros). De los componentes antes mencionados, sólo el almidón puede ser degradado completamente por enzimas endógenas en la luz del intestino delgado.

Los carbohidratos que no son almidón, son digeridos, limitadamente en las aves y en mayor proporción en el caso de los cerdos, por enzimas microbianas en ciego e intestino grueso; como resultado de esta degradación y utilización por los microorganismos se producen ácidos grasos volátiles que contribuyen a la economía energética (hasta un 3% de los requerimientos de mantenimiento en aves y 10 a 20% en cerdos).

Sin embargo, la presencia de estos carbohidratos le da características especiales de densidad y viscosidad al contenido intestinal; viscosidad que promueve cambios en la fisiología y el ecosistema del TD. Se ha observado que contenidos con alta viscosidad propician una menor velocidad de paso y que pueden interferir con la digestión y absorción de otros nutrimentos. Adicionalmente, se ha mencionado que la viscosidad del contenido intestinal promueve la proliferación de ciertos agentes patógenos.

Con base en lo arriba señalado, el uso de enzimas exógenas puede constituir una herramienta tecnológica que permita complementar las acciones de las enzimas endógenas, incrementar la eficiencia de producción y disminuir la pérdida y desperdicio de nutrimentos.

LITERATURA RECOMENDADA:

Argenzio, R. A. 1993. Secretory functions of the gastrointestinal tract. En: Dukes' Physiology of Domestic Animals, 11th. Edition. M. J. Swenson and W. O. Reece, Eds. USA. Comstock, Cornell University Press. Pp 349-386.

Duke, G. E. 1993. Avian digestion. En Dukes' Physiology of Domestic Animals, 11th. Edition. M. J. Swenson and W. O. Reece, Eds. USA. Comstock, Cornell University Press. Pp 428-436.

Ganong, W. F. 1993. Gastrointestinal function. Digestion and absorption. En: Review of Medical Physiology, 16th. Edition. USA. Appleton & Lange. Pp 427-468.

Pluske, J. R., D. W. Pethick, Z. Durmic, D. J. Hampson and B. P. Mullan. 2001. Non-starch polysaccharides in pig diets and their influence on intestinal microflora, digestive physiology and enteric disease. En: Recent Developments in Pig Nutrition 3. J. Wiseman and P. C. Garnsworthy, Eds. UK. Nottingham University Press. Pp 123-160.

Van Der Aar, R. E Weurding, H. Enting and B.Veldman. 2003. The practical relevance of the kinetics of starch digestion in broilers. En: Recent Advances in Animal Nutrition 2003. P. C. Garnsworthy and J. Wiseman, Eds. UK. Nottingham University Press. Pp 35-46.