

## **FORMULACIÓN DE DIETAS CON AMINO ACIDOS DIGESTIBLES (1)**

### **“MATERIAS PRIMAS: FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VARIACION DE SUS COEFICIENTES DE DIGESTIBILIDAD”**

Ajinomoto Biolatina Mexico

#### **INTRODUCCIÓN**

La formulación de dietas con valores de amino ácidos digestibles tiene la gran ventaja de considerar las variaciones en digestibilidad entre ingredientes y aún en el mismo ingrediente. El concepto de formulación de raciones considerando los valores de digestibilidad de amino ácidos es de gran importancia por la variación en digestibilidad que existe entre ingredientes debido a factores intrínsecos, o por factores independientes a las materias primas. El conocimiento más preciso de la digestibilidad de los nutrientes en las materias primas y del efecto de procesamientos industriales sobre la digestibilidad de los nutrientes nos permite tener una evaluación más precisa de la calidad nutricional de los ingredientes. (Creswell y Swick, 2001; Rostagno 2005).

El concepto y fundamentos de formulación con amino ácidos digestibles no es nuevo, mucha investigación ha sido generada en los últimos 25 años, liderada principalmente por la Universidad de Illinois y el INRA en la década de los 90. A partir de esa fecha nueva información ha sido generada también en otros centros de investigación (Rostagno, 2005). No obstante, y a pesar de la contundencia e impacto demostrado por los resultados experimentales (Rostagno y colaboradores, 1995; Douglas y Parsons, 1999), la mayoría de los nutriólogos comerciales continúan formulando con valores de amino ácidos totales (Creswell y Swick, 2001).

Las razones de la resistencia al cambio son debidas a la desconfianza que genera el cambio, desconfianza ante las diferencias en los coeficientes reportados en la literatura, la idea generalizada de que los ingredientes tradicionales (sorgo-maíz y pasta de soya) presentan valores altos y constantes de digestibilidad y por último, la idea errónea de que los requerimientos de amino ácidos expresados en totales ya están muy bien definidos, son precisos y han dado resultados consistentes en campo (Creswell y Swick, 2001).

Es importante mencionar que muchas de los conceptos anteriores ya han sido esclarecidos por varios investigadores, sin embargo es obvio que mucha de esa información no ha sido comunicada adecuadamente a nivel comercial, motivo por el cual esta revisión pretende aclarar una parte muy importante de la inseguridad generada entre los nutriólogos, las causas de la variabilidad en los valores de digestibilidad.

#### **FACTORES QUE AFECTAN LA DIGESTIBILIDAD DE AMINO ÁCIDOS EN MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN ALIMENTACIÓN ANIMAL**

La digestibilidad de los amino ácidos depende de varios factores, mismos que pueden clasificarse en factores propios de la materia prima; que a su vez se clasifican en factores independientes a la proteína del ingrediente y factores propios a la proteína del ingrediente, y en factores externos a la materia prima, que principalmente se refieren a condiciones de tratamientos o procesamientos industriales aplicados a las materias primas con la finalidad de reducir los factores antinutricionales, mejorar la presentación de las materias primas o modificar la digestibilidad de los nutrientes (Alonso y colaboradores, 2000; Abd El-Hady y Habiba, 2003; Duodu y colaboradores, 2003).

## **FACTORES PROPIOS A LA MATERIA PRIMA: FACTORES INDEPENDIENTES A LA PROTEÍNA DEL INGREDIENTE**

En este grupo encontramos aquellos que dependen directamente de la interacción entre la fracción proteica con las fracciones del ingrediente o, con los componentes no proteicos, mismos que se describen a continuación:

- 1- La estructura organizacional del grano. El grano o semillas de oleaginosas presentan diferentes fracciones mismas que poseen diferentes características y funciones. Un grano puede estar o no cubierto por cascarilla, a la cual le siguen en localización el pericarpio, el endospermo y el germen. Cada una de las fracciones presentan no solo diferentes asociaciones e interacciones entre proteínas, carbohidratos y lípidos, presenta también diferentes proporciones y tipos de cada uno de esos componentes, lo que puede dar origen a diferencias dramáticas en la digestibilidad de los amino ácidos propios de cada fracción. Un ejemplo de ello son las proteínas estructurales presentes en el pericarpio, llamadas 'extensinas', ricas en lisina pero de pobre digestibilidad, debido a su fuerte asociación con la celulosa presente en el pericarpio (Cassab, 1998; Waldron y colaboradores, 2003; Duodu y colaboradores, 2003).
- 2- Presencia de compuestos tóxicos o detrimentales; como los inhibidores de tripsina de la soya, los compuestos polifenólicos; como los taninos del sorgo o el gossipol en harina de algodón (Nelson y colaboradores, 1975; Francis y colaboradores, 2001), etc. Para ejemplificar este grupo de factores abarcaremos primeramente el efecto de los compuestos polifenólicos, cuyo efecto negativo es debido a la interacción de los taninos o el gossipol con las proteínas que se encuentren en contacto. Esta interacción se da por formación de puentes de hidrógeno o bien enlaces no polares entre albúminas, globulinas y prolaminas, reduciéndose la solubilidad de las proteínas y modificándose la estructura de las proteínas, lo que conlleva a una menor acción de las enzimas a nivel intestinal. Debido a su alto peso molecular, los taninos del sorgo son capaces de precipitar una gran cantidad de proteína, pudiendo precipitar el equivalente en proteína a más de 12 veces su propio peso (Francis y colaboradores, 2001; Duodu y colaboradores, 2003). Una situación similar se presenta en el caso de la fracción de gossipol unida a proteínas. El efecto descrito anteriormente se ve aumentado al someter a la semilla de algodón a tratamiento térmico, lo cual se hace con la intención de reducir el efecto negativo del gossipol, quien al unirse a la lisina se hace indisponible (Arieli, 1998). Es conveniente indicar que otros compuestos fenólicos como los flavonoides y el ácido fenólico no afectan consistentemente la digestibilidad de la proteína (Duodu y colaboradores, 2003), debido posiblemente a su menor tamaño y efecto sobre la modificación de la estructura de la proteína. Con respecto a los inhibidores de tripsina, es bien conocido su efecto negativo sobre la digestibilidad de la fracción proteica y el aumento de secreciones pancreáticas, lo que afecta significativamente la pérdida de amino ácidos endógenos a nivel intestinal. Estos inhibidores de tripsina son destruidos parcialmente por tratamientos térmicos (Araba y Dale, 1990b), sin embargo, también es conocido el efecto negativo de un sobreprocesamiento térmico sobre la disponibilidad de los amino ácidos, especialmente lisina, en pasta de soya y otros ingredientes (Araba y Dale, 1990a, Parsons y colaboradores, 1992, Ye Zhang y Parsons; 1994; Ye Zhang y Parsons, 1996; Martínez Amezcua y colaboradores, 2004). Del mismo modo, Dilger y colaboradores. (2004) observaron reducciones en la digestibilidad de nitrógeno y amino ácidos en cerdos alimentados con pasta de soya cuando se adicionaron cantidades crecientes de cascarilla de soya, misma que además de contener polisacáridos diferentes al almidón, puede presentar inhibidores de tripsina.
- 3- Fitatos: el fósforo se almacena en los tejidos vegetales ligado a una molécula de mioinositol, como mioinositol 1,2,3,4,5,6 fosfato hexakis deshidrogenado. Los fitatos se encuentran en forma libre, en cuyo caso se conocen como ácido fítico, o bien, formando complejos con sales de calcio, magnesio o potasio, en cuyo caso reciben el nombre de fitinas (Plaami, 1997). El contenido de fitatos en el maíz es de 0.24 g de fitatos/100g en base seca (Ravindran y colaboradores, 1995; Plaami, 1997), valor similar al observado en trigo y cebada. La localización de los fitatos y de las fitinas que los atacarán durante la germinación varía de materia prima a materia prima. (Plaami, 1997; Rebollar y Mateos, 1999).

Los fitatos pueden ligarse también a proteínas; algunos trabajos han mostrado efectos positivos en digestibilidad de amino ácidos de varios ingredientes por la inclusión de fitasas (Ravindran y colaboradores, 1995; Ravindran y colaboradores, 2001; Rostagno, 2005). Sin embargo, el efecto de las fitasas ha sido inconsistente (Boiling-Frankenbach y colaboradores, 2001b; Augspurger y Baker, 2004; Kim y colaboradores, 2005) y recientemente Martínez Amezcua (2005a) observó que el efecto de las fitasas sobre los valores de digestibilidad de amino ácidos es debido a un efecto indirecto, relacionado más a un nivel deficitario de fósforo que a un efecto directo sobre la interacción fitatos-proteína.

- 4- Componentes y composición de las paredes celulares. Este punto se refiere a las interacciones existentes entre los carbohidratos de las paredes celulares con proteínas o lípidos y la presencia de carbohidratos solubles; que por sus propias características resultan en un incremento de la viscosidad del contenido intestinal (Choct, 2002; Broz y Beardsworth, 2002). Existe en mayor o menor grado asociación entre proteínas y pericarpio o paredes celulares presentes en el endospermo tanto en granos como en semillas de leguminosas. Estas asociaciones pueden reducir la digestibilidad de la proteína y amino ácidos en dos formas, la primera es dificultando el contacto directo entre las proteínas del ingrediente con las enzimas digestivas, o bien, formando complejos indigestibles entre proteína y carbohidratos. Las proteínas que más se encuentran formando parte de esta interacción son las extensinas del pericarpio (García-Lara y colaboradores, 2004) y las prolaminas principalmente asociadas al endospermo. Las formas más comunes de asociación son la asociación directa de los amino ácidos a polisacáridos diferentes al almidón, presentes en la pared celular o por enlaces cruzados entre amino ácidos y el ácido ferúlico, también unido a los polisacáridos ligados a las paredes celulares. Es importante mencionar que estas interacciones pueden verse incrementadas dependiendo de las condiciones de proceso al cual se sometan las materias primas, incluyendo calor y presión (Duodu y colaboradores, 2003; Garcia Lara y colaboradores, 2004).

Con respecto a la presencia de carbohidratos solubles, conocidos generalmente como polisacáridos diferentes al almidón (NSP) encontramos principalmente a los  $\beta$ -D glucanos y los arabinoxilanos presentes en las paredes celulares del endospermo en cereales como la cebada, avena, triticale, centeno y trigo. Estos polisacáridos diferentes al almidón incrementan la viscosidad del contenido intestinal, lo que afecta la acción de enzimas digestivas, disminuye el flujo de la digesta, la absorción de nutrientes y ocasiona excretas pegajosas (Choct, 2002; Broz y Beardsworth, 2002)

- 5- Almidón o contenido de carbohidratos reductores presente en los ingredientes. Existe una asociación directa entre el almidón y las proteínas, principalmente a nivel de endospermo; a nivel de los cuerpos proteicos y glutelinas presentes en las paredes celulares que cubren a los gránulos de almidón. La digestibilidad de los cuerpos proteicos puede verse reducida por su interacción con almidón y viceversa. Esta interacción puede reducirse por la utilización de enzimas (alfa amilasa) o incrementada en caso de tratamientos térmicos que promuevan gelatinización del almidón (Duodu y colaboradores, 2003), o liberación de azúcares reductores en conjunto con altas temperaturas (Martínez Amezcua, 2005b). Una situación similar se observa en el caso de harinas de sangre; Moughan y colaboradores (1999) observaron reducciones en digestibilidad de lisina en harinas de sangre procesadas incluso bajo cortos tiempos de proceso (1 minuto a 121°C) comparadas con harinas de sangre deshidratadas por el método de liofilización, observando también reducciones en la digestibilidad de lisina en muestras deshidratadas con tecnologías de secado por espreas (Lu y Chen, 2000). Los mismos autores observaron reducciones en la disponibilidad de lisina al secar la harina de sangre desde 85°C, sin mayores disminuciones en digestibilidad ante temperaturas más elevadas cuando el tiempo se mantuvo constante. Se considera que este efecto es debido a la presencia de glucosa libre en sangre, mismo que tiene alto poder reductor, uno de los principales componentes para las reacciones de tipo Maillard.
- 6- Lípidos o compuestos derivados de lípidos, ejemplo las saponinas (esteroides o glucósidos triterpenoides). Estos compuestos pueden formar complejos con las proteínas. Esta asociación afecta la digestibilidad de la proteína posiblemente bloqueando la acción de las enzimas digestivas, sin embargo este efecto negativo de la interacción se estima menor al considerar que por otro lado,

se reduce la toxicidad de las saponinas y su efecto negativo sobre las enzimas digestivas como la lipasa pancreática (Francis y colaboradores, 2001; Francis y colaboradores, 2002).

## **FACTORES PROPIOS A LA MATERIA PRIMA: FACTORES PRÓPIOS DE LA PROTEÍNA DEL INGREDIENTE.**

Este punto se refiere a aquellas características propias de la proteína, mismas que dependen directamente del tipo y cantidad de amino ácidos presentes, como podría ser el caso de las glutelinas, que son proteínas de bajo peso molecular pero con una alta proporción de enlaces disulfuro (Paulis y Wall, 1971, citado por Lasztity, 1999). Si bien estos factores ya interactúan en las materias primas originales, el impacto e importancia de ellos puede verse incrementada en forma dramática debido a características de tratamiento o procesamientos industriales aplicados a los ingredientes. Dentro de los factores más importantes se encuentra:

- 1- Enlaces cruzados disulfuro. Estos enlaces se presentan normalmente en proteínas con alto contenido de amino ácidos azufrados, sin embargo, también es importante en algunos ingredientes como el sorgo cuando se somete a procesamientos térmicos, situación que afecta en forma importante la digestibilidad de la proteína y de los amino ácidos, especialmente cisteína (Duodu y colaboradores, 2003).
- 2- Hidrofobicidad de la proteína. Proteínas más hidrofóbicas serán más inaccesibles al ataque enzimático en el tracto digestivo. Un ejemplo de este efecto es el caso de las prolaminas del sorgo (kafirinas) comparadas con las prolaminas del maíz (zeinas); las prolaminas del sorgo son más hidrofóbicas, lo que se ha asociado a una menor digestibilidad, especialmente después de procesos de cocción o procesamientos térmicos (Duodu y colaboradores, 2004).

## **FACTORES EXTERNOS A LA MATERIA PRIMA**

En este grupo se encuentran las características de los procesamientos industriales aplicados a las materias primas con el fin de modificar la presentación de la materia prima, separar fracciones y/o reducir la presencia de factores anti-nutricionales (Wiryawan y Dingle, 1999; Alonso y colaboradores, 2000; Francis y colaboradores, 2001).

Dentro de los tratamientos o procesamientos más comúnmente utilizados para mejorar la digestibilidad o reducir el efecto negativo de los factores antinutricionales se encuentran los tratamientos físicos, como los tratamientos mecánicos, remojo y fermentación y los tratamientos térmicos, mismos que se describen a continuación (Wiryawan y Dingle, 1999).

**Tratamientos mecánicos.** En este grupo de tratamientos se encuentra la decorticación o separación del pericarpio o testa como en el caso del sorgo y ciertas leguminosas. Este tratamiento remueve la fracción en donde se encuentra los taninos (Wiryawan y Dingle, 1999).

Otro ejemplo de los tratamientos mecánicos es la molienda. Uno de los principales efectos negativos de la fibra está relacionado con la encapsulación de los componentes intracelulares por parte de las paredes celulares (Mc Cracken, 2002; Waldron y colaboradores, 2003), efecto que se ve reducido por la molienda, misma que puede romper parte de esas estructuras celulares y mejorar la digestibilidad de los componentes intracelulares al exponer los compuestos intracelulares.

**Remojado, fermentación y suplementación de enzimas (o tratamientos químicos):** En este grupo de tratamientos el principal efecto sobre disponibilidad de nutrientes está relacionado con la activación de enzimas endógenas (Abd El-Hady y Habiba, 2003), la suplementación de enzimas exógenas producidas por microorganismos a un medio de fermentación, o bien, por suplementación directa de enzimas al alimento terminado. Varios trabajos han mostrado la eficacia de estas enzimas sobre sus sustratos específicos. La adición de fitasas al alimento (Ravindran 1995; Peter y colaboradores, 2001; Augspurger y colaboradores, 2003), o bien por la acción de fitasas en procesos fermentativos (Alonso y colaboradores, 2000; Martínez Amezcua y colaboradores, 2004) ha demostrado su eficacia liberando el

fósforo de los fitatos, mas no así sobre digestibilidad de amino ácidos o energía de la dieta (Augspurger y Baker, 2004; Onyango y colaboradores, 2005; Martínez Amezcua 2005). Del mismo modo la adición de enzimas específicas como las  $\beta$ -glucanasas o combinación de enzimas como hemicelulasas, xilanasas, pentosanas y celulasas han demostrado ser eficaces para incrementar el valor energético y valor nutritivo de la proteína de aquellos cereales o leguminosas que presenten ese tipo de carbohidratos diferentes al almidón, como se aprecia en la Tabla 1.

Con respecto al proceso de fermentación, el efecto sobre digestibilidad de amino ácidos o incluso, de la pérdida de amino ácidos, es debida a la presencia de proteasas en los microorganismos utilizados para la fermentación (Martínez Amezcua, 2005). Por otro lado, Refstie y colaboradores, (2005) observaron una reducción moderada pero significativa en la actividad de inhibidores de tripsina en hojuelas de soya después de un proceso de fermentación con bacterias ácido lácticas.

Tabla 1. Efecto de la suplementación de enzimas en la tasa de utilización de proteína en granos de leguminosas para pollos.

Leguminosa	Control	+ Enzima	Mejora (%)	Contenido FDN (g/kg)
Haba (faba bean)	3.0	3.58**	19.33	209.6
Garbanzo(chickpea)	3.3	3.76*	13.60	234.2
Chicharo(pegeon pea)	3.3	3.69*	12.16	195.7
Altramuz (lupin)	3.2	3.49	8.05	239.4
SBM	3.7	3.94	7.36	164.9
Lenteja (lentil)	3.8	3.95	4.50	138.2

Wiryawan et al., 1999.

\* ( $p < 0.05$ ), \*\*( $p < 0.01$ )

**Tratamientos térmicos** El principal efecto del calor es desnaturalizar proteínas, en el caso de leguminosas, el objetivo es desnaturalizar compuestos antinutricionales como los inhibidores de tripsina o quimotripsinas, lecitinas y otros compuestos sensibles a la temperatura. Si bien es cierto que una temperatura adecuada destruye una parte importante de los factores antinutricionales mencionados, si sus condiciones son excesivas en temperatura o tiempo, incluso bajo condiciones de peletización como lo comenta MacCracken (2002), se corre el riesgo de afectar negativamente la digestibilidad de la proteína y de los amino ácidos, especialmente de la lisina.

Los efectos detrimentales de tratamientos térmicos excesivos pueden dividirse en

- 1- Racemización y formación de isopéptidos. La transformación de L-amino ácidos a D-amino ácidos tiene un efecto negativo sobre absorción (Vrese y colaboradores, 2000; Duodu y colaboradores, 2004) y utilización de amino ácidos, especialmente en mamíferos, (Lewis y Baker, 1995), tanto en forma independiente como D-amino ácido libres, como por la formación de isopéptidos con D amino ácidos insertados en la cadena, como por la formación de péptidos de baja digestibilidad o utilización, aún si son absorbidos, como sucede en el caso de la lisinoalanina, que en su mayor parte es eliminada en la orina, ocasionando incluso nefrocitomegalia (Robbins y colaboradores, 1980). Este tipo de reacciones se observan cuando se somete a los ingredientes a tratamientos térmicos, alcalinos o ácidos (Robbins y colaboradores, 1980; Vrese y colaboradores, 2000; Duodu y colaboradores, 2004).
- 2- Cambios en la estructura secundaria de la proteína. Tratamientos térmicos pueden provocar un cambio en la estructura secundaria de las proteínas; principalmente se observa un cambio en el arreglo de alfa hélices a la estructura laminar antiparalela o estructura Beta laminar (Duodu y colaboradores, 2004), con menor acceso las enzimas digestivas.

- 3- Formación de productos Maillard entre carbohidratos reductores y el grupo amino épsilon de la lisina (Wiryawan y colaboradores, 1999). El secado en seco de moléculas de amilasa a 185-200°C por 2.5 horas involucra ruptura de enlaces glucosa a-1-4 (Theander y colaboradores, 1989), que incrementa la proporción de azúcares reductores, y con ello, la posibilidad de formar complejos Maillard.

## CONCLUSIONES

La variación en los coeficientes de digestibilidad de los amino ácidos es ocasionada por diferencias reales entre materias primas, debidas a variaciones propias de las materias primas por factores genéticos o ambientales, presencia de factores antinutricionales o por diferencias en los procesamientos industriales aplicados a los ingredientes, que principalmente ocasionan interacción entre proteínas y otros componentes de las materias primas. Lo anterior denota la importancia de un conocimiento adecuado de los valores de amino ácidos digestibles y demuestra lo obsoleto de la formulación con amino ácidos totales y de los requerimientos definidos como amino ácidos totales, si se toma en cuenta que, en muy pocas ocasiones, se desconocía la calidad de las materias primas utilizadas en las dietas basales. Se concluye con esta revisión que son varios los factores que afectan la digestibilidad de los amino ácidos en los ingredientes, por lo cual la formulación con valores de amino ácidos digestibles es indispensable para lograr una formulación más eficiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abd El-Hady E. A., y R.A. Habiba. 2003. Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. *Lebensm.-Wiss. U. Technol.* 36:285-293.
- Alonso R., A. Aguirre, y F. Marzo. 2000. Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans. *Food Chemistry* 68: 159-165.
- Araba M., and N.M. Dale. 1990. Evaluation of protein solubility as an indicator of overprocessing soybean meal. *Poultry Science.* 69:76-83.
- Araba M., and N.M. Dale. 1990. Evaluation of protein solubility as an indicator of underprocessing of soybean meal. *Poultry Science.* 69:1749-1752.
- Arieli A. 1998. Whole cottonseed in dairy cattle feeding: a review. *Animal Feed Science and Technology* 72: 97-110.
- Augspurger N.R., and D.H. Baker. 2004. High dietary phytase levels maximize phytate-phosphorus utilization but do not affect protein utilization in chicks feed phosphorus or amino acid-deficient diets. *J. Anim. Sci.* 82:1100-1107.
- Augspurger N.R., D.M. Webel, X.G. Lei, and D.H. Baker. 2003. Efficacy on an E. coli phytase expressed in yeast for releasing phytate-bound phosphorus in young chicks and pigs. *J. Anim. Sci.* 81-474-483.
- Boling-Frankenbach S.D., C.M. Peter, M.W. Douglas, J.L. Snow, C.M. Parsons, and D.H. Baker. 2001b. Efficacy of phytase for increasing protein efficiency ratio values of feed ingredients. *Poultry Science.* 80:1578-1584.
- Broz J., y P. Beardsworth. 2002. Recent trends and future developments in the use of feed enzymes in poultry nutrition. In *Poultry Feedstuffs, Supply, composition and nutritive value. Poultry Science Symposium Series Volume 26.* Edited by J.M.

McNab y K.N. Boorman. CABI Publishing, pag. 345-361. Cassab G. I. 1998. Plant cell wall proteins. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49:281-309.

Choct M. 2002. Non-starch polysaccharides: effect on nutritive value. In *Poultry Feedstuffs, Supply, composition and nutritive value. Poultry Science Symposium Series Volume 26*. Edited by J.M. McNab y K.N. Boorman. CABI Publishing, pag. 221-235.

Dilger R.N., J.S. Sands, D. Ragland, and O. Adeola. 2004. Digestibility of nitrogen and amino acids in soybean meal with added soyhulls. *J. Anim. Sci.* 82:715-724.

Douglas M. W., and C. M. Parsons. 1999. Dietary formulation with rendered spent hens meals on a total amino acid versus digestible amino acid basis. *Poultry Science.* 78:556-560.

Duodu K.G., J.R.N. Taylor, P.S. Belton y B.R. Hamaker. 2003. Factors affecting sorghum protein digestibility. *Journal of Cereal Science.* 38 (2003): 117-131.

Francis G., H.P.S. Makkar, y K. Becker. 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199:197-227.

Francis G., Z. Kerem, H.P.S. Makkar, y K. Becker. 2002. The biological action of saponins in animal systems: a review. *British J. of Nutrition* 88: 587-605.

Garcia-Lara S., D. J. Bergvinson, A. J. Burt, Al I. Ramputh, D. M. Diaz-Pontones, and J.T. Arnason. 2004. The role of pericarp cell wall components in maize weevil resistance. *Crop Sci.* 44:1546-1552.

Lasztity R. 1999. The chemistry of maize. In *Cereal chemistry*. Pages 219-239. Akademiai Kiado, Budapest.

Leeson S., y J.D. Summers. 2005. *Commercial Poultry Nutrition*. 3<sup>a</sup> Edición. Publicado por University Books. P.O. BOX 1326. Guelph, Ontario, Canada.

Lewis A. J., y D. H. Baker. 1995. Bioavailability of D-amino acids and DL-Hydroxy-methionine. In *Bioavailability of nutrients for animals. Amino acids, Minerals and Vitamins*. Edited by C. B. Ammerman, D. H. Baker, A. J. Lewis. Academic Press. U.S.A.

Lu G.W., y T.C. Chen. 2000. Quality characteristics of broiler blood meal as affected by yeast, glucosa oxidase and antioxidant treatment. *Animal Feed Science and Technology.* 83:159-164.

Martínez Amezcua, C. 2005a. Effect of microbial phytase and citric acid on phosphorus bioavailability, apparent metabolizable energy and amino acid digestibility in distillers dried grains with solubles in chicks. *Poultry Science* (en imprenta)

Martínez Amezcua, 2005b. Effect of increased heat processing and particle size on phosphorus bioavailability in corn distillers dried grains with solubles (DDGS). In *Nutritional evaluation of DDGS for poultry*. PhD. thesis. Urbana, Illinois.

McCracken K.J. 2002. Effects of physical processing on the nutritive value of poultry diets. In *Poultry Feedstuffs, Supply, composition and nutritive value. Poultry Science Symposium Series Volume 26*. Edited by J.M. McNab y K.N.Boorman. CABI Publishing, pag. 301-315.

Nelson T.S., E. L. Stephenson, A. Burgos, J. Floyd, y J. O. York. 1975. Effect of tannin content and dry matter digestion on energy utilization and average amino acid availability of hybrid sorghum grains. *Poultry Science* 54: 1620-1623.

Onyango E.M., M.R. Bedford, and O. Adedola. 2005. Efficacy of an evolved *Escherichia coli* phytase in diets of broiler chicks. *Poultry Science*: 84:248-255. Parsons C.M., K. Hashimoto, K.J. Wedekind, Y. Han, and D.H. Baker. 1992. Effect of overprocessing on availability of amino acids and energy in soybean meal. *Poultry Science* 71:133-140.

Peter C.M., T.M. Parr, E.N. Parr, D.M. Webel, D.H. Baker. 2001. The effects of phytase on growth performance, carcass characteristics, and bone mineralization of late-finishing pigs fed maize-soyabean meal diets containing no supplemental phosphorus, zinc, copper and manganese. *Animal Feed Science and Technology*. 94: 199-205.

Plaami S. (1997). Myoinositol phosphates: analysis, content in foods and effects in nutrition. Review article. *Lebensm.Wiss.u. Technol.* 30:633-647.

Ravindran V., W.L. Bryden, and E.T. Kornegay. 1995. Phytates: Occurrence, bioavailability and implications in poultry nutrition. *Poultry and Avian Biology Reviews*. 6(2):125-143.

Ravindran V., P.H. Selle, G. Ravindran, P.C. H. Morel, A.K. Kies, and W. L. Bryden. 2001. Microbial phytase improves performance, apparent metabolizable energy, and ileal amino acid digestibility of broilers fed a lysine-deficient diet. *Poultry Science*. 80:338-344.

Rebollar P. G. and G.G. Mateos. 1999. El fósforo en nutrición animal. Necesidades, valoración de materias primas y mejora de la disponibilidad. XV Curso de especialización. Avances en Nutrición y Alimentación Animal. Organized by FEDNA. Madrid, Spain. p: 19-64.

Refstie S., S. Sahlstrom, E. Brathen, G. Baeverfjord, y P. Krogedal. 2005. Lactic acid fermentation eliminates indigestible carbohydrates and antinutritional factors in soybean meal for atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. 246:331-345.

Robbins K. R., D. H. Baker, y J. W. Finley. 1980. Studies on the utilization of lysinoalanine and lanthionine. *J. of Nutrition*. 110(5) 907-915.

Rostagno, H.S; L. E.Páez, y L. F. Albino. 2005. Metodologías para determinar la digestibilidad de amino ácidos. Workshop: Implementación de formulación con amino ácidos digestibles y sus implicaciones prácticas. 3 y 4 de Octubre, Querétaro, Querétaro. México.

Rostagno H. S., J.M.R. Pupa, and M. Pack. 1995. Diet formulation for broilers based on total versus digestible amino acids. *J. Appl. Poult. Res.* 4:293-299. Theander O., E. Westerlund, P. Aman, y H. Graham. 1989. Plant cell walls and monogastric diets. *Animal Feed Science and Technology*. 23: 205-225.

Vrese M., R. Frik, N. Ross y H. Hagemester. 2000. Protein-bound D-amino acids, and to a lesser extent lysinoalanine, decrease true ileal protein digestibility in minipigs as determined with <sup>15</sup>N-labeling. *J. Nutr.* 130:2026-2031.

Ye Zhang, and C. M. Parsons. 1994. Effects of overprocessing on the nutritional quality of sunflower meal. 73:436-442.

Ye Zhang, and C. M. Parsons. 1996. Effects of overprocessing on the nutritional quality of peanut meal. 75:514-518.

Wiryawan K.G., y J.G. Dingle. 1999. Recent research on improving the quality of grain legumes for chicken growth. *Animal Feed Science and Technology*. 76: 185-193.

Waldron K.W., M.L. Parker, and A.C. Smith. 2003. Plant cell walls and food quality. *Comprehensive reviews in food science and food safety*. Co2:101-119.